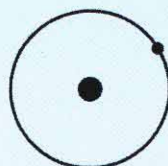
سلسلة الثقافة المميزة
11

تأليف
ستيفن واينبرغ
جائزة نوبل في الفيزياء

أحلام الفيزيائيين

بالعثور على نظرية نهائية ، جامعة شاملة







ترجمة
أدهم السمان
أستاذ الفيزياء في جامعة دمشق





المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا


ketab.me
Best Books



دمشق : منطقة المزة (3) - حي الجلاء (5) شارع كعب بـن مـالك
(طلعة الإسكان سـابقـــاً) بنـــاء رقــم (2) ــ ص.ب : 16035
هاتف: 6618013 - 6618961 تلفاكس: 6618820 - برقياً: طلاسدار
Website:www.dartlass.com E-mail:info@dartlass.com

مكتبـة دار طـلاس - بـرج دمشــق - مقابـل وزارة الداخلية - هاتف: 2319558

ريــع الـدار لهيئة مدارس
أبناء و بنات الشهداء في الجمهورية العربية السورية

أحلام الفيزيائيين

صدر هذا الكتـــاب بالتعـــاون مع المعهـــد
العـالي للعلـوم التطبيقيـــة والتكنولوجيـــا بدمشق

الطبعة الأولى - ١٩٩٧

الطبعة الثانية - ٢٠٠٦

تأليف
ستيفن واينبرغ
جائزة نوبل في الفيزياء

سلسلة
الثقافة
المميزة
11

أحلام الفيزيائيين

بالعثور على نظرية نهائية، جامعة شاملة

ترجمة
أدهم السمان
أستاذ الفيزياء في جامعة دمشق

عنوان الكتاب باللغة الانكليزية

DREAMS OF A FINAL THEORY

Steven Weinberg



Vintage Books
A Division of Random House, Inc.
New York

إهــداء

أتقدم بجزيل الشكر إلى الأستاذ الدكتور محمد مراياتي على قراءة مخطوط هذه الترجمة وإرشادنا إلى ما كان فيه من هفوات وسهو وغموض .

أدهم السمان

أهداف هـذا الكتاب

يروي هذا الكتاب قصة مغامرة فكرية عظيمة تهدف إلى البحث عن القوانين النهائية للطبيعة. فمعظم الأبحاث الحالية في فيزياء الطاقة العالية تستوحي مبرراتها من الحلم بالحصول على نظرية نهائية بهذا الصدد. ولئن كنا ما نزال نجهل الشكل الذي يمكن أن تتخذه القوانين النهائية، أو عدد السنين التي سوف تنقضي قبل أن نعثر عليها، إلا أننا نعتقد، بوحي من النظريات التي نعرفها اليوم، أننا بدأنا ندرك ملامح إطار نظرية نهائية شاملة.

إن فكرة النظرية النهائية، بحد ذاتها، موضع خلاف يستثير اليوم جدالاً حاداً لدرجة أن وصل إلى غرف لجان الكنغرس في الولايات المتحدة الأمريكية. هذا لأن فيزياء الطاقة العالية قد أصبحت ذات تكاليف متزايدة، وتستدعي متطلباتها دعماً حكومياً ينبع بعضه من المهمة التاريخية المنوطة بهذه الفيزياء لاكتشاف القوانين النهائية.

لقد كنت في البدء أنوي أن أعرض، للقراء الذين لا يملكون معرفة مسبقة في الفيزياء أو الرياضيات العالية، نقاط الخلاف التي أثارتها فكرة النظرية النهائية كجزء من التاريخ الفكري المعاصر. فهذا الكتاب يتناول فعلاً الأفكار الأساسية التي ينطوي عليها العمل الحالي عند تخوم الفيزياء. ولكنه ليس كتاباً مدرسياً في الفيزياء، ولن يرى فيه القارئ فصولاً مستقلة فيما بينها تعالج موضوعات شتى: كالجسيمات والقوى والتناظرات والأوتار. ولكنني، بدلاً من ذلك، صنعت نسيجاً من مفاهيم الفيزياء الحديثة في مناقشة ما تعنيه لنا النظرية النهائية وكيفية العثور عليها. وكان دليلي في هذه المهمة خبرتي الشخصية كقارئ مطلع على علوم، كالتاريخ، ليست من اختصاصه. والمؤرخون غالباً ما يستسلمون لإغراء أن يكونوا أول من يعطي سرداً تاريخياً متبوعاً بموضوعات خلفية منفصلة عن السكان والاقتصاد والتقانة وما إلى ذلك.. هذا إضافة

إلى أن المؤرخين الذين يقرؤهم المرء للمتعة، من تاسيتوس Tacitus وغيبون Gibbon إلى إيليوت Elliot وموريسون Morison، يخلطون الرواية بالخلفية في أثناء البرهان على كل النتائج التي يريدون أن يضعوها أمام القارئ، أما أنا فقد حاولت، في أثناء كتابة هذا الكتاب، أن أقتفي أثرهم؛ ولكنني قاومت إغراءات المنهجية. كما أنني لم أتردد في أن أذكر، في المادة التاريخية والعلمية، ما قد يكون معروفاً سلفاً لدى القراء، المؤرخين أو العلميين، أو حتى أن أكرر هذه المعلومات عندما أرى فائدة في تكرارها. وهنا أستشهد بما قاله فرمي ذات مرة، بأن على المرء أن لا يستهتر أبداً بالمتعة التي نشعر بها عندما نسمع شيئا نعرفه سلفاً.

لقد قسمت هذا الكتاب إلى ثلاثة أقسام عامة تتلوها خاتمة. عرضت في القسم الأول، الذي يضم الفصول الثلاثة الأولى، فكرة النظرية النهائية (الشاملة الجامعة)؛ وفي الفصل الرابع حتى نهاية الثامن شرحت كيف استطعنا أن نتقدم باتجاه نظرية نهائية؛ وفي الفصل التاسع حتى نهاية الحادي عشر عمدت إلى عرض التكهنات بخصوص شكل النظرية النهائية وكيفية تأثير اكتشافها في مسيرة الجنس البشري. وفي الفصل الثاني عشر أخيراً انتقلت إلى ذكر الحجج التي سيقت لصالح «المصادم الأكبر الفائق الناقلية» وضده، هذا المسرِّع الجسيمي الباهظ التكاليف الذي لا غنى عنه لفيزيائيي الطاقة العالية والذي ما تزال قضية تمويله في المستقبل على كف عفريت.

إن قراء هذا الكتاب سوف يجدون، في حواشيه السفلية، مزيداً من المناقشة لبعض الأفكار التي وردت في متنه، وفي بعض الأحيان، عندما أُضطر إلى تبسيط مفرط لبعض المفاهيم العلمية الواردة في المتن، أعطيت مناقشة أكثر دقة.

* * * * *

إنني ممتن جداً للسيدة لويز داينبرغ التي حثتني على إعادة كتابة نسخة سابقة من هذا الكتاب، وعلى الاهتمام بكيفية تنفيذه.

وأعبر عن شكري الجزيل للسيد دان فرانك، من مكتبات بانتيون، على تشجيعه وتوجيهاته الصائبة وتحريره، وللسيد نيل بلتون ووكيلي مورتون جانكلو، على اقتراحاتهما القيِّمة.

كما أنني أدين بالنصح والتعليقات على شتى الموضوعات للفلاسفة بول فيرابند وجورج غيل وسندرا هاردنغ ومايلز جاكسون وروبرت نوزيك وهيلاري بوتنام وميكائيل ريدهيد؛ وللمؤرخين ستيفن بروش وبيتر غرين وروبرت هانكنسون؛ وللطلاب النظاميين فيليب روبيت ولويز واينبرغ ومارك يودوف؛ وللمؤرخين جيرالد هولتون وأبراهام بيس وصموئيل شويبر؛ واللاهوتي الفيزيائي جون بولكنغورن؛ وعلماء النفس ليون أيزنبرغ وإليزابيث واينبرغ؛ والبيولوجيين سيدني برينر وفرانسيس كريك ولورنس غيلبرت وستيفن غولد وإرنست ماير؛ وللفيزيائيين ياكير آهارونوف وسيدني كولمان وبرايس ديويت ومنفرين فِنك وميكائيل فيشر وديفيد غروس وبنغت نيجيل وستيفن أورساغ وبريان بيبارد وجوزيف بولشنسكي وروي شويتزر وليوناردو سكوسكند؛ والكيميائي روالد هوفمان؛ وللفيزيائيين الفلكيين وِليام بريس وبول شابير وإيثان فشِنياك؛ وللكاتبين جيمس غلاريك ولارس غوستافسون، فبفضل مساعدتهم أمكن اجتناب عدة أخطاء خطيرة.

آب (أغسطس) ١٩٩٢

ستيفن واينبرغ
أوستن، تكساس

الفصل الأول

تمهيد

إذا كنتُ قد شاهدتُ بالفعل جمالاً ذات يوم، جمالاً اشتهيته
ونلته، فهو لم يكن سوى حلم أوحته جلالتك

John Donne, Th Good-Morrow

(الصباح الحسن)

لقد شهدت الفيزياء، في القرن العشرين الذي نطويه الآن، توسعاً مذهلاً لحدود المعرفة العلمية.. فنظريتا النسبية، الخاصة والعامة، قد أحدثتا تغيراً مستمراً في نظرتنا إلى المكان والزمان والثقالة. أما ميكانيك الكم فقد خلق انقطاعاً جذرياً عن الماضي وذلك بأن غيَّر تماماً اللغة التي كنا نستعملها في توصيف الطبيعة: فبدلاً من الجسيمات ذات المواضع والسرع المعينة تعلمنا أن نتكلم عن توابع (دالات) موجية واحتمالات. وبانضمام النسبية إلى ميكانيك الكم تطورت نظرة جديدة إلى العالم، نظرة فقدت فيها المادة دورها المركزي، فانتقل الدور المركزي إلى مبادئ تناظر بعضها خفي عن النظر في الحالة الراهنة لهذا العالم، وعلى هذا الأساس بنينا نظرية ناجحة في الكهرطيسية وفي التفاعلين النوويين، الضعيف والشديد، فيما بين الجسيمات العنصرية الأولية. وغالباً ما كنا نشعر بما شعر به سيغفريد بعد أن ذاق طعم دم التنين، عندما تملكته الدهشة من اكتشاف قدرته على فهم لغة الطيور.

لكننا الآن نراوح في مكاننا، ذلك أن السنين التي انقضت منذ منتصف السبعينيات كانت الأكثر إحباطاً في مسيرة فيزياء الجسيمات العنصرية. إننا ندفع الآن ثمن نجاحنا؛ لقد تقدمت النظرية تقدماً أصبح معه كل تقدم لاحق يتطلب دراسة لما يحدث في طاقات تقع خارج مدى ما تبلغه أجهزتنا التجريبية الحالية.

وللخروج من هذا المأزق بدأ الفيزيائيون، منذ عام ١٩٨٢، يضعون الخطط التفصيلية لمشروع علمي لم يسبق له مثيل في الضخامة والتكاليف، اسمه المصادم الأكبر الفائق الناقلية. إن الشكل النهائي الذي اتخذه هذا المشروع يستدعي حفر نفق بيضوي طوله ٥٣ ميلاً في المنطقة الجنوبية من مقاطعة دالاس. وسوف يوضع ضمن هذا النفق تحت

الأرض آلاف المغانط الفائقة الناقلية التي سوف تقود حزمتين من الجسيمات المشحونة بالكهرباء، المعروفة باسم البروتونات والبروتونات المضادة، بما يجعلهما تدوران ملايين المرات بشكل حلقي في اتجاهين متعاكسين؛ وفي أثناء ذلك تتسارع البروتونات إلى أن تبلغ طاقة تساوي عشرين مرة من أعلى طاقة توفرها المسرعات الجسيمية الحالية. وفي نقاط عديدة من الحلقة يُعمد إلى إجراء تصادم بين بروتونات الحزمتين يبلغ تواتره مئات الملايين في الثانية الزمنية. وبالقرب من نقاط التصادم توضع كواشف ضخمة يبلغ وزن بعضها عشرات آلاف الأطنان، وظيفتها أن تسجل ما يحدث في هذه التصادمات. وقد قُدِّرت كلفة هذا المشروع بأكثر من ثمانية مليارات دولار.

لقد أثار المصادم الأكبر معارضة شديدة، لا من طرف الأعضاء المقتصدين في الكنغرس فحسب، بل ومن طرف بعض رجال العلم الذين يُفضلون أن يُصرف هذا المبلغ في حقول بحوثهم الخاصة. أما اللغط الأكبر فقد تناول مفهوم ما يسمى بالعلم الكبير؛ وقد وجد بعض هذا اللغط في المصادم الأكبر هدفاً لسهامه. وفي أثناء ذلك كانت المؤسسة الأوروبية المعروفة باسم **سيرن** CERN تنوي بناء مسرع يكاد يضاهي المصادم الأكبر، ويعرف باسم المصادم الهدروني الضخم، فمن شأن هذا المصادم أن يكون أقل كلفة من المصادم الأكبر لأنه سوف يستغل النفق الموجود حالياً تحت جبال الجورا قرب جنيف؛ لكن طاقته ستكون، لهذا السبب نفسه، أقل من نصف طاقة المصادم الأكبر. وقد كان الجدل الذي أُثير في أوربا حول المصادم الهدروني يشبه من عدة وجوه الجدل الذي أثاره المصادم الأكبر في أمريكا.

عندما ذهب هذا الكتاب إلى المطبعة عام ١٩٩٢ كان المصادم الأكبر، الذي رفض مجلس النواب تمويله في جلسة التصويت التي انعقدت في حزيران (يونيو)، قد استرد، في شهر آب، حق التمويل بتصويت عادي في مجلس الشيوخ.

كان مستقبل المصادم الأكبر منوطاً بما يمكن أن يتوفر له من دعم خارجي محسوس، لكن هذا الدعم لم يتوفر له حتى الآن. وواقع الأمر أن تمويل المصادم الأكبر، رغم أنه ما يزال قائماً في الكنغرس هذا العام، يواجه إمكانية الرفض من قبل هذا المجلس في العام القادم وفي أي عام يليه إلى أن يتم تنفيذ المشروع. وقد يحدث أن تشهد أواخر سنوات القرن العشرين فترة توقف في مجال أساسيات علم الفيزياء، وقد لا تُستأنف إلا بعد ذلك بعدة سنين.

إن هذا الكتاب لا يتناول قضية المصادم الأكبر. لكن الجدل حول هذا المشروع قد اضطرني إلى الكلام عنه علناً أمام الكنغرس كشاهد يحاول أن يشرح ما نسعى إلى إنجازه بدراسة الجسيمات العنصرية. ولئن كان يمكن الظن بأنني، بعد ثلاثين عاماً من العمل في

مجال الفيزياء، لن ألقى صعوبة في هذا الصدد، لكن ذلك لم يكن البتة على هذه الدرجة من السهولة.

أما أنا فقد كانت متعة العمل عندي مبرراً كافياً على الدوام للقيام به. فعندما أجلس أمام مكتبي، أو أمام طاولة أحد المقاهي، أعالج صيغاً رياضيه ينتابني شعور فاوست وهو يلعب بنجومه الخماسية قبل أن يصل ميفستو، فتخطر في بالي، كل مرة معاً، تجريدات رياضية ومعطيات تجريبية وحدس فيزيائي مجتمعة كلها في نظريات محددة بخصوص الجسيمات والقوى والتناظرات. وفي كل فترة هدوء أطول تبين لي أن النظرية صحيحة؛ وكانت التجارب تبرهن أحياناً على أن الطبيعة تتصرف فعلاً بالطريقة التي تتنبأ بها النظرية.

لكن هذا ليس كل شيء. لأن للفيزيائيين العاملين في ميدان الجسيمات العنصرية دافعاً آخر، دافعاً يصعب عليهم شرحه، حتى لأنفسهم.

لكن نظرياتنا الحالية ذات صحة محدودة، وهي ما تزال وقتية ومنقوصة. لكننا نرى من خلالها، من وقت لآخر، ملامح نظرية نهائية، نظرية يمكن أن تكون ذات صحة غير محدودة، ومرضية تماماً من حيث كمالها وتماسكها. فنحن نبحث عن حقائق عالمية الشمول في الطبيعة؛ وعندما نعثر عليها سنحاول تفسيرها بتبيان كيفية استنتاجها من حقائق أكثر عمقاً. أي أن نرى في مجال المبادئ العلمية فضاءً مليئاً بأسهم تتجه نحو كل مبدأ منطلقة من المبادئ الأخرى التي تعلله. وأسهم التعليل هذه قد أظهرت مؤخراً نموذجاً يلفت النظر؛ فهي لا تشكل أجمات مبعثرة لا تواصل بينها تمثل كل منها علماً مستقلاً عن سواه، ولا تهيم على غير هدى — بل هي مترابطة كلها، ولو صعدنا مسيرتها إلى منطلقاتها لبدت لنا كلها نابعة من نقطة انطلاق مشتركة؛ وهذه النقطة، التي تنطلق منها كل التعليلات، هي التي أعنيها بعبارة نظرية نهائية.

من المؤكد أننا لا نملك حتى الآن نظرية نهائية، ويبدو أننا لن نكتشفها عما قريب، ولكننا نتبين، من وقت لآخر، تباشير تنبئ بأننا غير بعيدين جداً عنها. كما أننا، في بعض المناقشات التي تجري بين الفيزيائيين وعندما يتضح لنا نشوء أفكار رياضية جميلة تتفق فعلاً مع العالم الواقعي، ينتابنا شعور بأن وراء الأكمة ما وراءها، أي أن وراءها حقيقة أعمق تنبئ عن نظرية نهائية تجعل أفكارنا ذات قيمة جيدة جداً.

عندما نتكلم عن نظرية نهائية يتبادر إلى ذهننا حشد من الأسئلة والأوصاف. فماذا نعني، مثلا، بقولنا: مبدأ علمي واحد «يعلل» مبدأ آخر؟ وكيف نعلم أن هناك نقطة مشتركة تنطلق منها كل التفسيرات؟ وهل سنكتشف هذه النقطة ذات يوم؟ وعلى أي مسافة

منها نحن اليوم ؟ وما الشكل الذي تتخذه النظرية النهائية ؟ وما هو فرع فيزيائنا الحالية الذي سوف يظل موجوداً في النظرية النهائية ؟ وماذا ستقول هذه النظرية بخصوص الحياة والوعي الإدراكي ؟ وماذا سيطرأ على العلم والنفس البشرية عندما نحصل على نظريتنا النهائية ؟ إن هذا الفصل لا يتعرض لهذه الأسئلة إلا قليلاً جداً ، ولكنه يترك جوابها الشافي إلى باقي فصول هذا الكتاب .

إن الحلم بنظرية نهائية لم يبدأ في القرن العشرين . بل يمكن اقتفاء أثره في الغرب رجوعاً إلى المدرسة التي ازدهرت قبل قرن من مولد سقراط في مدينة ميليتوس الإغريقية عند مصب نهر مياندر في بحر إيجة . ونحن في الواقع لا نعرف الكثير عن تعاليم الفلاسفة الذين سبقوا سقراط ؛ لكن الروايات اللاحقة ، والكراريس الأصلية النادرة والباقية حتى اليوم ، توحي بأن مفكري تلك المدينة كانوا يبحثون قبلئذ عن تعليلات ، للظواهر الطبيعية كلها ، تستند إلى مكوِّنات المادة ، فالماء هو الهيولة (المادة) الأساسية في رأي تاليس أول هؤلاء الميليتوسيين ؛ أما أنا كسيمينيس ، وهو آخرهم ، فيرى أن الهواء هو الهيولة الأساسية .

إن أفكار هذين الفيلسوفين تبدو اليوم من الغرابة بمكان . أما ما يثير الإعجاب الآن فهي المدرسة التي نشأت بعدهما بقرنين من الزمان في مدينة أبديرا في الجنوب الشرقي من أوربا . فهناك كان ديمقريطس ولوسيبوس يقولان بأن كل المادة مصنوعة من جسيمات صغيرة خالدة أسمياها ذرات . (إن للمذهب الذري جذوراً في الميتافيزياء الهندية تعود حتى إلى ما قبل ديمقريطس ولوسيبوس) . وقد تبدو هذه المذاهب الذرية القديمة مبكرة بشكل مدهش ؛ لكن ليس من المهم جداً ، في رأيي ، أن يكون الميليتوسيون على «خطأ» وأن تكون نظرية ديمقريطس ولوسيبوس الذرية «صائبة» بمعنى ما إذا لم يكن لدى أي من أسلاف سقراط ، لا في أبديرا ولا في ميليتوس ، أي شيء يشبه فكرتنا الحديثة عما كان يجب إنجازه في تفسير علمي ناجح ؛ ألا وهو الفهم **الكمي** للظواهر . فما هو المدى الذي كنا سنصل إليه في فهم سلوك الطبيعة الذي نعرفه لو أن تاليس أو ديمقريطس أخبرانا أن الحجر مصنوع من الماء أو الذرات إذا بقينا لا نعرف كيفية حساب كثافته أو قساوته أو ناقليته الكهربائية ؟ زد على ذلك طبعاً أننا ، لولا قدرتنا على استنباط نبوءات كمية ، كنا سنظل عاجزين عن معرفة أي منهما ، تاليس أم ديمقريطس ، كان على صواب .

لقد شعرت أحياناً ، عندما كنت في تكساس وهارفارد أُعلِّم الفيزياء لطلاب العلوم الإنسانية ، بأن مهمتي الأهم (والأصعب حتماً) تقضي بإعطاء طلابي الإحساس بحلاوة القدرة على إجراء حساب تفصيلي لما يحدث في ظروف شتى تتحكم في منظومات فيزيائية

شتى . لقد تعلموا حساب انعطاف الأشعة الكاثودية (المهبطية) وهبوط قطرة من الزيت ، لا لأن ذلك من الأمور التي يحتاج كل منهم إلى حسابها ، بل لأن إجراء هذه الحسابات يتيح لهم أن يكتسبوا بأنفسهم الخبرة بالمعنى الواقعي الذي تنطوي عليه عبارة مبادىء الفيزياء . ذلك لأن إدراكنا للمبادىء ، التي تتحكم في هذه الحركات أو تلك ، يقع في قلب علم الفيزياء وهو من عوامل حضارتنا .

فمن وجهة النظر هذه لم تكن «فيزياء» أرسطو أفضل من تكهنات تاليس وديمقريطس الأقدم والأقل تعقيداً . ففي كتابيه : الفيزياء ثم حول السموات ، يصف أرسطو حركة القذيفة بأنها طبيعية جزئياً وغير طبيعية جزئياً ؛ فحركتها الطبيعية ، كحركة الأجسام الثقيلة كلها ، تتجه نحو الأسفل ، نحو مركز الأشياء ؛ أما حركتها غير الطبيعية فمصدرها الهواء الذي يمكن استشعار تأثيره في أية قذيفة تتحرك . ولكن ما هي بالضبط السرعة التي تسير بها القذيفة على مسارها ، وما هي المسافة التي تقطعها قبل أن تصطدم بالأرض ؟ إن أرسطو لم يقل بأن الحساب والقياسات صعبة جداً وبأن المعروف عن قوانين الطبيعة ما يزال غير كافٍ للحصول على وصف مفصَّل لحركة القذيفة . بل إن أرسطو لم يقدم أي جواب ، صحيح أو خاطىء ، لأنه لم يدرك أن هذه الأسئلة تستحق أن تُطرح .

لماذا تستحق أن تطرح ؟ قد لا يهتم القارىء كثيراً ، على غرار أرسطو ، بسرعة القذيفة عندما ترتطم بالأرض . ـــ أنا أيضاً لا أهتم بذلك كثيراً . المهم أننا الآن نعرف **المبادىء** ـــ قانون نيوتن في الحركة والثقالة ومعادلات التحريك في الهواء ـــ إنها تحكم بالضبط مكان القذيفة في كل لحظة من طيرانها . ولكنني لا أقول هنا إننا نستطيع فعلاً أن نحسب بالضبط كيف تتحرك القذيفة . فتيار الهواء خلف حجر غير منتظم الشكل ، أو عند ريشة السهم ، ذو حركة معقدة ، وبذلك لا تُعتبر حساباتنا سوى عملية تقريبية معقولة ، لا سيما في تيارات هوائية أصبحت جياشة ، خصوصاً وأن هناك أيضاً قضية معرفة الظروف البدئية بالضبط . ومع ذلك نستطيع استغلال معرفتنا للمبادىء الفيزيائية لحل مسائل أبسط من هذه ، كحركة الكواكب في فضاء خالٍ من الهواء أو كالحركة النظيمة للهواء حول الكرات والكواكب ، وذلك بجودة كافية للتأكد من أننا نعرف حقاً المبادىء التي تحكم حركة القذيفة . ونحن ، على غرار ذلك ، عاجزون عن حساب مسيرة التطور البيولوجي ، ولكننا نعرف اليوم بشكل جيد المبادىء التي تحكم هذا التطور .

هنا يجب أن نميز شيئاً هاماً ، شيئاً قد يؤدي إلى اختلاط الأفكار بخصوص ما تعنيه عبارة القوانين النهائية للطبيعة أو وجود هذه القوانين . فنحن عندما نقول بأن حقيقة تفسر حقيقة أخرى ، كأن نقول بأن المبادىء الفيزيائية (قواعد ميكانيك الكم) التي تحكم

الإلكترونات في حقل كهربائي تفسر القوانين الكيميائية ، لا نعني بهذا القول وبالضرورة أننا قادرون فعلاً على استنباط الحقائق التي ندعي أنها قد تفسرت . ولئن كنا نستطيع أحياناً إتمام الاستنباط ، كما فعلنا في كيمياء جزيء الهدروجين البسيط جداً ، إلّا أن المسألة تكون أحياناً أعقد من أن نستطيع حلها . ونحن ، عندما نتكلم بهذه الطريقة عن التفسيرات العلمية ، لا نقصد في ذهننا ما يستنتجه العلميون فعلاً ، بل نعني أن في الطبيعة نفسها التزاماً بذلك . فعلى سبيل المثال كان الفيزيائيون والفلكيون ، حتى قبل أن يتعلموا في القرن التاسع كيفية حساب التجاذب المتبادل بين الكواكب حساباً دقيقاً يأخذ بعين الاعتبار حركاتها جميعاً ، يستطيعون أن يثقوا بمعقولية أن الكواكب تتحرك بالأسلوب الذي تتبعه لأنها محكومة بقوانين نيوتن الحركية والثقالية ، أو بأي قوانين أخرى أصح على صعيد التقريب من قوانين نيوتن ، ولئن كنا نعتقد اليوم ، برغم عجزنا عن التنبؤ بكل شيء يستطيع الكيميائيون اكتشافه ، أن الذرات تتصرف بالأسلوب الذي تتبعه في التفاعلات الكيميائية ، فما ذلك إلا لأن المبادئ الفيزيائية التي تحكم الإلكترونات والقوى الكهربائية ضمن الذرة لا تدع للذرات حرية التصرف بشكل آخر .

إن في سلوكنا هذا شيئاً من المواربة ، لأن من الخطل أن نتكلم عن حقيقة تفسر حقيقة أخرى دون أن يقوم أحد بإجراء الاستنتاجات فعلاً . ولكنني أعتقد أن من واجبنا اتباع هذه الطريقة في الكلام لأن علومنا تسلك هذا **الأسلوب** : أي اكتشاف تفسيرات قائمة ضمن البناء المنطقي للطبيعة . ومن الواضح أننا نشعر بمزيد كبير من الثقة بصحة التفسير الذي نملكه إذا استطعنا أن نجري بالفعل **بعض** الحسابات وأن نقارن النتائج بالأرصاد : إن لم يكن على كيمياء البروتينات فعلى كيمياء الهدروجين على الأقل .

هذا ورغم أن رجال الفكر الإغريقيين لم يكونوا يستهدفون ما نستهدفه من فهم الطبيعة فهماً شاملاً وكمياً ، إلا أن بعض المحاكات الكمية لم تكن مجهولة في العالم القديم . فمنذ آلاف السنين كان يوجد أناس ذوو إلمام بقواعد علم الحساب والهندسة المستوية والحركات ذات الدور المديد ، كحركة الشمس والقمر والنجوم ، بما في ذلك دقائق بعض الظواهر الطبيعية ، كالاعتدالين : الربيعي والخريفي . زد على ذلك الازدهار الذي حصل في علم الرياضيات بعد أرسطو ، في أثناء العصر اليوناني بين فتوحات الاسكندر ، تلميذ أرسطو ، وبين اجتياح الرومان للعالم الإغريقي . وأنا ، عندما كنت طالباً جامعياً أدرس الفلسفة ، كنت أشعر ببعض الاستياء عندما أسمع من يصف فلاسفة اليونان ، مثل تاليس وديمقريطس ، بأنهم فيزيائيون ؛ ولكنني ، عندما أتيت إلى عظماء اليونان ، إلى أرخميدس وهو يكتشف في سيراكوز قوانين الدافعة التي سميت باسمه وإلى إيراتوستينس الذي قاس في الاسكندرية محيط

الأرض، كنت أشعر أنني برفقة زملائي العلميين. ولم نشهد بعد ذلك، في أية بقعة من بقاع الأرض، شيئاً يشبه علم اليونان حتى حدثت النهضة العلمية الأوربية في القرن السابع عشر (*).

ورغم ألمعيتهم لم يستطع فلاسفة الطبيعة اليونان أن يقتربوا من فكرة مجموعة قوانين مترابطة تنتظم الطبيعة **كلها**. والواقع أن كلمة «قانون» لم تُستعمل إلا نادراً في العصور القديمة (لم يستعملها أرسطو قط) إذا استثنينا استعمالها في معناها الأصلي، عند الكلام عن القوانين البشرية أو الإلهية التي تحكم سلوك الإنسان؛ فنحن لا نجد، حتى عصر غاليليو وكبلر وديكارت في القرن السابع عشر، المعنى الحديث لعبارة قوانين الطبيعة.

إن مؤرخ علوم القدماء، بيتر غرين، يضع معظم اللوم في محدودية العلم الإغريقي على اغترار الإغريقيين الفكري وتفضيلهم الساكن على المتحرك والتأملَ على التقانة، باستثناء التقانة العسكرية. كان ملوك الاسكندرية اليونانية الثلاثة الأولين يدعمون البحوث في طيران القذائف بسبب تطبيقاتها العسكرية، لكن ربما كان يبدو للإغريقيين أن من غير المناسب تطبيق محاكمة دقيقة على شيء مبتذل. كتدحرج كرة تهبط على مستوٍ مائل. وللعلم الحديث ميوله الخاصة ــ البيولوجيون يهتمون بالجينات (المورِّثات) أكثر من اهتمامهم بالأورام، كما أن الفيزيائيين يفضلون دراسة التصادمات بين بروتونين بطاقة تبلغ ٢٠ ألف مليار فولت بدلاً من ٢٠ فولت. لكن هذه الميول من النوع الانتهازي، المستند إلى أحكام (خاطئة أو صائبة) تقول بأن بعض الظواهر ذات مدلول أوضح من مدلول سواها؛ أي أن هذه الميول لا تنبع من عقيدة أن بعض الظواهر أهم من سواها.

إن الحلم الحديث، بنظرية نهائية، قد بدأ فعلاً مع أعمال نيوتن. ولئن كانت المحاكمة العلمية الكمية لم تتوقف قط، وكانت قد شهدت قبل عصر نيوتن نشاطاً متجدداً، بفضل غاليلو خصوصاً، إلا أن نيوتن كان قادراً على توظيف قوانينه الحركية وقانونه الثقالي العام لتفسير الكثير من الظواهر، من مدارات الكواكب والقمر إلى المد والجزر وسقوط التفاحة، لدرجة أنه لا بد أن يكون قد شعر، ولأول مرة في التاريخ، بإمكانية وجود نظرية تفسيرية شاملة. وقد عبر نيوتن عن آماله في المقدمة الواردة في أول طبعة لكتابه، المبادئ **Principia**، حيث يقول: «أتمنى أن نستطيع استنباط بقية ظواهر الطبيعة [أي الظواهر التي لم يتناولها هذا الكتاب] بنوع المحاكمة نفسه المستند إلى مبادئ ميكانيكية، لأن لدي أسباباً عديدة

---

* يبدو أن المؤلف غير مطلع على أعمال رجال العلم العَرب، قبل النهضة الأوربية بكثير؛ وهذا شيء نأخذه عليه وإن كان لا يسيء إلى الغرض من هذا الكتاب. المترجم

تحملني على الظن بأنها يمكن أن تُعزى كلها إلى قوى معينة » . ثم وصف بعد عشرين عاماً في كتابه ، علم الضوء Opticks ، كيف يرى إمكانية تنفيذ برنامجه :

إن صغريات الجسيمات المادية تتماسك اليوم بأشد التجاذبات ، وتؤلف جسيمات أكبر بفعالية أضعف ؛ كما أن عدداً من هذه [الجسيمات الأكبر] يمكن أن تتلاصق وتشكل جسيمات أضخم تتماسك بمزيد من الضعف ، وهكذا دواليك في تواليات شتى ، إلى أن تنتهي هذه السلسلة في أضخم الجسيمات التي تتناولها العمليات الكيميائية والتي تتعلق بها ألوان الأجسام الطبيعية والتي تؤلف بالتماسك أجساماً ذات حجم محسوس . وبناءً على ذلك ، يوجد في الطبيعة قوى قادرة على أن تجعل جسيمات الجسم تتلاصق معاً بقوى تجاذب شديدة جداً . ومن وظيفة الفلسفة التجريبية أن تكتشفها .

إن الاقتداء بسيرة نيوتن قد أدى ، في إنكلترا خصوصاً ، إلى أسلوب متميز في التفسير العلمي ، أسلوب يرى أن المادة مؤلفة من جسيمات صغيرة جداً لا تتحول ولا تتغير ، وأن الجسيمات تؤثر بعضاً على بعض بوساطة « قوى ما » ليست الثقالة سوى أحد وجوهها ؛ وبمعرفة أماكن وسرعات هذه الجسيمات في أية لحظة ، ومعرفة حساب القوى المتبادلة فيما بينها ، يستطيع المرء أن يستخدم قوانين الحركة للتنبؤ بأمكنة الجسيمات في أية لحظة لاحقة . وما تزال الفيزياء تُدرس بهذا الأسلوب في أغلب الصفوف الإعدادية الجامعية . وبرغم النجاحات اللاحقة التي أحرزها علم الفيزياء فإن هذا الأسلوب قد كان مع الأسف طريقاً مسدوداً .

إن العالم ، مجمل القول ، شيء معقد . ومن خلال المزيد من المعلومات التي اكتسبها رجال العلم عن الكيمياء والضوء والكهرباء والحرارة ، في القرنين : الثامن عشر والتاسع عشر ، كان لابد أن يتبين لهم أن إمكانية التفسير بالتعاليم النيوتنية تتضاءل أكثر فأكثر . ففي سبيل تفسير التفاعلات الكيميائية وتآلفات موادها ، خصوصاً ، وذلك بمعالجة الذرات وكأنها جسيمات نيوتنية تتحرك بفعل تجاذبها وتنافرها ، كان على الفيزيائيين أن يخترعوا ، بخصوص الذرات والقوى ، عدداً من الفرضيات كبيراً لدرجة أن لا يمكن معها إنجاز أي شيء فعلاً .

وبرغم ذلك كله شاع في تسعينيات القرن التاسع عشر ، ولدى عدد من رجال العلم ، إحساس غريب باكتمال الفيزياء . وبهذا الصدد يُروى في حكايا العلم أن أحد الفيزيائيين قد ادعى ، في منقلب ذلك القرن ، أن الفيزياء على وشك الاكتمال ولم يبق عليها شيء سوى أن تُنفذ قياسات نربح فيها مزيداً من المراتب العُشرية . ويبدو أن أصل هذه الرواية يعود إلى ملاحظة صدرت عن الفيزيائي التجريبي الأمريكي ، ألبرت مايكلسون ، حين قال في جامعة تشيكاغو عام ١٨٩٤ : « رغم أن من غير المأمون بتاتاً أن نؤكد أن العلم الفيزيائي ليس في

جعبته أعاجيب أكثر إذهالاً من أعاجيب الماضي، يبدو من الراجح أن معظم المبادئ الكبرى الأساسية قد توطدت توطداً متيناً وأن التقدم اللاحق يجب البحث عنه أساسياً في التطبيق الدقيق لهذه المبادئ على الظواهر التي تقع تحت بصيرتنا... وقد لاحظ أحد الفيزيائيين المرموقين أن الحقائق المستقبلية للعلم الفيزيائي يجب أن يُبحث عنها في المرتبة العُشرية السادسة». وقد كان الفيزيائي التجريبي الأمريكي الآخر، روبرت أندروز ميليكان، حاضراً أثناء إلقاء مايكلسون محاضرته في الجلسة التي انعقدت في تشيكاغو، وحزر أن «الفيزيائي» المرموق الذي عناه مايكلسون هو الاسكتلندي ذو النفوذ، ويليام تُمسون، لورد كلفن. وقد أخبرني أحد أصدقائي، الذي كان في أواخر الأربعينات طالباً في كمبردج، أن كلفن كان يُستشهد كثيراً بقوله بأن الفيزياء لم يعد فيها جديد يجب اكتشافه وأن كل الباقي يقتصر على قياسات أكثر فأكثر دقة.

أما أنا فلم أستطع العثور على هذه الملاحظة في مجموعة خطابات كلفن؛ ولكن يوجد كثير من الشواهد الأخرى على انتشار الإحساس بالاكتمال العلمي في نهاية القرن التاسع عشر، وإن لم يكن ذلك على الصعيد العالمي. فعندما دخل الشاب ماكس بلانك في جامعة مونيخ، عام ١٨٧٥، حاول أستاذ الفيزياء، فيليب جولي، أن يثنيه عن دراسة العلوم مدعياً أنها لم يبق فيها شيء يجب اكتشافه. كما أن ميليكان تعرض لنصيحة مماثلة؛ فقد قال: «في عام ١٨٩٤ كنت أسكن في الطابق الخامس من الشارع الرابع والستين، غربي برودوي، مع أربعة طلاب آخرين من كولمبيا، واحد في الطب والثلاثة الآخرين في علم الاجتماع والسياسة. كانوا كلهم يقرعونني باستمرار على انغماسي في شيء «منته»؛ نعم، في «موضوع ميت»، كالفيزياء، في حين أن حقلاً جديداً «حياً»، في علم الاجتماع قد فتح بابه الآن على مصراعيه».

وكثيراً ما تساق سوابق الظن باكتمال الفيزياء، التي ظهرت في القرن التاسع عشر، كتحذير لمن يتجرأ منا، في القرن العشرين، على الكلام عن نظرية نهائية. لكن هذا التصرف يغفل النقطة الأساسية لدى أولئك الذين تقبلوا هذه الملاحظات. فليس من المحتمل أن رفاق غرفة مايكلسون وجولي وميليكان كانوا يستطيعون أن يظنوا أن طبيعة التجاذب الكيميائي قد تفسرت بنجاح على أيدي الفيزيائيين — والأقل احتمالاً بكثير من أن يُظن أن آلية الوراثة قد تفسرت بنجاح على أيدي الكيميائيين. أما الذين أبدوا مثل هذه الملاحظات فلم يكن بمقدورهم أن يفعلوا ذلك إلا أنهم استسلموا لما كان يحلم به نيوتن وأتباعه، بأن الكيمياء وكل العلوم الأخرى لا بد أن تتفسر بلغة القوى الفيزيائية؛ فهم كانوا يرون أن الكيمياء والفيزياء قد أصبحتا علمين متكافئين، كل منهما على وشك الاكتمال. ومهما يكن من أمر فقد كان

يوجد إحساس شائع باكتمال العلم في نهايات القرن التاسع عشر ، ولم يكن هذا الإحساس سوى الصورة التي واكبت تضاؤل الطموح .

لكن الأمور تغيرت بسرعة كبيرة . ويرى الفيزيائيون أن القرن العشرين قد بدأ عام ١٨٩٥ ، حين اكتشف ويلهلم رونتغن إشعاعاً لم يكن يتوقعه أحد ، فأُطلق عليه اسم الأشعة السينية (المجهولة) . لم تكن هذه الأشعة مهمة جداً بحد ذاتها ؛ بل لأن هذا الاكتشاف قد شجع الفيزيائيين على الاعتقاد بأن في جعبة الفيزياء أشياء جديدة عديدة يجب اكتشافها ، خصوصاً بدراسة الإشعاع من كل نوع وجنس ، وقد تتابعت الاكتشافات فعلاً بوتيرة عالية . وسرعان ما اكتشف هنري بيكرل النشاط الإشعاعي في باريز عام ١٨٩٦ . وفي عام ١٨٩٧ قاس تمسون انعطاف الأشعة الكاتودية (المهبطية) بفعل الحقل الكهربائي وبفعل الحقل المغنطيسي ، وفسر النتائج على أساس جسيم عنصري ، الإلكترون ، موجود في كل المواد ، لا في الأشعة الكاتودية فحسب ، وفي برن (سويسرا) قدم ألبرت أينشتاين (حين كان ما يزال محروماً من وظيفة أكاديمية) ، عام ١٩٠٥ ، وجهة نظر جديدة في المكان والزمان ، وذلك في نظريته النسبوية الخاصة ، واقترح طريقة جديدة للبرهان على وجود الذرات وفسر أعمالاً سابقة ، تناول فيها ماكس بلانك الإشعاع الحراري ، تفسيراً يستند إلى جسيم عنصري جديد هو جسيم الضوء ، الذي سُمي فيما بعد فوتوناً . وبعد ذلك بقليل ، عام ١٩١١ ، استخدم إرنست رذرفورد نتائج تجارب تناولت عناصر مشعة في مختبره في فتشتسر ليستنتج أن الذرة تتألف من نواة صغيرة ثقيلة محوطة بغيمات من الإلكترونات . وفي عام ١٩١٣ استخدم نيلز بور هذا النموذج الذري واستغل فكرة الفوتونات لكي يفسر الطيف الضوئي لأبسط الذرات ، ذرة الهدروجين ؛ فأثار نجاحه حماساً كبيراً ؛ وبدأ الفيزيائيون يشعرون بأنهم قد يكونون على أبواب نظرية نهائية توحِّد على الأقل كل فروع الفيزياء .

كان مايكلسون المتفائل سابقاً قد رأى ، عام ١٩١٢ ، أن بمقدوره أن يقول : « يظهر أننا غير بعيدين جداً عن موعد نتلاقى فيه ... على أرضية مشتركة ، خطوط منطلقة من عدة مناطق فكرية تبدو مشتتة . وعندئذ نجد أن طبيعة الذرات والقوى التي تتولى اتحادها الكيميائي ، والتفاعلات فيما بين هذه الذرات والأثير السرمدي كما يتجلى في ظواهر الضوء والكهرباء ، وبنى الجزيئات والمنظومات الجزيئية التي لبناتها الذرات ، وتفسير الترابط والمرونة والثقالة ، تنتظم كلها في بنيان وحيد متراص مادته المعرفة العلمية » . ففي حين كان مايكلسون ، من قبلُ ، يعتقد أن الفيزياء كانت مشرفة على الاكتمال لأنه لم يكن يتوقع من الفيزياء أن تفسر الكيمياء ، نراه الآن يتوقع في المستقبل القريب اكتمالاً مختلفاً تماماً يضم الكيمياء والفيزياء على حد سواء .

كان هذا الكلام قبل أوانه نوعاً ما . فالحلم بنظرية نهائية موحدة قد بدأ يتجسد عملياً في أواسط عشرينيات القرن العشرين ، مع اكتشاف ميكانيك الكم . كان هذا الميكانيك إطاراً جديداً وغريباً تُصاغ فيه الفيزياء بلغة توابع (دالات) موجية واحتمالات ، بدلاً من لغة الجسيمات والقوى : قوامِ الميكانيك النيوتني . لقد أتاح ميكانيك الكم فجأة للفيزيائيين أن يحسبوا لا خصائص الذرات الإفرادية وتفاعلها مع الإشعاع فحسب ، بل وخصائص الذرات المنضوية في الجزيئات . وأصبح واضحاً ، على الأقل ، أن الظواهر الكيميائية تتخذ شكلها المعروف ، بسبب التفاعلات الكهربائية فيما بين الإلكترونات ونوى الذرات .

أنا لا أقول هنا بأن دروس الكيمياء في المعاهد والكليات قد بدأت توكل إلى أساتذة الفيزياء ، ولا بأن الجمعية الكيميائية الأمريكية مدعوة إلى الدخول في الجمعية الفيزيائية الأمريكية . فمن الصعب استخدام معادلات ميكانيك الكم لحساب شدة الترابط بين ذرتي هدروجين في أبسط جزيء هدروجين . فخبرة الكيميائيين الخاصة وعمق نظرهم ضروريان للتعامل مع جزيئات معقدة ، لا سيما المعقدة جداً التي يصادفونها في البيولوجيا ، ومع أسلوب تفاعلها في ظروف شتى ؛ لكن نجاح ميكانيك الكم في حساب خصائص الجزيئات البسيطة جداً قد أثبت أن الكيمياء تعمل بطريقتها بسبب قوانين الفيزياء . ففي عام ١٩٢٩ أعلن بول ديراك مزهواً ، وهو أحد مؤسسي ميكانيك الكم الجديد ، بأن « القوانين الفيزيائية الأساسية ، اللازمة لنظرية رياضية تشمل جزءاً كبيراً من الفيزياء وكل الكيمياء ، قد صارت بهذا الشكل معروفة تماماً ، وأن الصعوبة تنحصر في أن هذه القوانين تقود إلى معادلات أعقد من أن يُستطاع حلها » .

وبعد ذلك بقليل برزت مسألة غريبة جديدة . فقد أعطت أوائل الحسابات الكمومية لطاقات الذرة نتائج تتفق جيداً مع التجربة . ولكن عندما طُبق ميكانيك الكم لا على إلكترونات الذرة فحسب ، بل وعلى الحقلين : الكهربائي والمغنطيسي الناجمين عن هذه الإلكترونات ، تبين أن للذرة طاقة لا نهائية ! ثم ظهرت لا نهائيات أخرى في حسابات أخرى ؛ ولمدة أربعين عاماً بدت هذه النتيجة اللامعقولة أكبر عقبة في طريق تقدم الفيزياء . ولكن تبين في النهاية أن مسألة اللانهائيات ليست كارثة ، بل بالأحرى أحد أفضل أسباب التفاؤل في طريق التقدم نحو نظرية نهائية . فعندما بُذلت العناية اللازمة لتعريف الكتل والشحنات الكهربائية والثوابت الأخرى زالت اللانهائيات كلها ، ولكن **فقط** في نظريات من أنواع خاصة . وهكذا ربما نجد أنفسنا مقودين رياضياً إلى جزء من النظرية النهائية أو كلها ، على أساس أن هذه هي الطريقة الوحيدة لتحاشي اللانهائيات . والواقع أن نظرية الأوتار ، وهي نظرية جديدة قليلةَ الأنصار ، ربما تكون هي التي قدمت مؤخراً الطريقة الوحيدة لاجتناب

اللانهائيات عندما نوفِّق بين النسبية (بما فيها النسبية العامة، نظرية أينشتاين الثقالية) وميكانيك الكم. وإذا كان الأمر كذلك فإن النظرية الوترية ستكون جزءاً كبيراً من أية نظرية نهائية.

أنا لا أقصد أن أوحي بأن النظرية النهائية سوف تُستنتج من رياضيات بحتة. وعلى كل حال، لماذا يجب علينا أن نعتقد بأن النسبية أو ميكانيك الكم نظرية لا غنى عنها يفرضها المنطق؟ بل يبدو لي أن خير ما نأمله هو أن نعثر على النظرية النهائية كنظرية متينة لدرجة أنها لا يمكن أن تنضوي، ضمن نظرية أخرى مختلفة قليلاً، إلا بدخول أشياء يرفضها المنطق رفضاً قاطعاً، كالطاقات اللانهائية مثلاً.

وهناك، مما يحمل على التفاؤل، سبب آخر ناجم عن الواقع المتميز بأن التقدم في الفيزياء غالباً ما يسترشد باعتبارات لا يمكن إلا أن ندعوها جمالية. وهذا غريب جداً. ولكن لماذا يجب أن يكون شعور الفيزيائي، بأن هذه النظرية أجمل من تلك، دليلاً مفيداً في البحث العلمي؟ يوجد أسباب عديدة تتيح الجواب عن هذا السؤال؛ وأحد هذه الأسباب خاص بفيزياء الجسيمات العنصرية: إن جمال نظرياتنا الراهنة قد لا يكون «سوى حلم» من نوع الجمال الذي ينتظرنا في النظرية النهائية.

في عصرنا الحالي كان أينشتاين هو الرجل الذي سعى بكل وضوح نحو نظرية نهائية. وبهذا الصدد يقول أبراهام بيس، مؤرخ حياته: «إن أينشتاين شخصية تمثل تماماً شخصيات وصايا «العهد القديم» وله رأي كرأي يَهْوه(*) بأن هناك قانوناً يجب العثور عليه». كانت السنون الثلاثون الأخيرة من حياة أينشتاين مكرَّسة بمعظمها للبحث عما يسمى نظرية حقل موحَّد يكون من شأنها أن تشمل معاً نظرية مكسويل الكهرطيسية ونظرية النسبية العامة، نظرية أينشتاين الثقالية. لكن محاولته لم تفلح؛ ونحن نعرف الآن، من معلوماتنا الحالية، أنها كانت رديئة الأساس. ذلك أن أينشتاين لم يكن يرفض ميكانيك الكم فحسب؛ بل وكانت جهوده منصبة في مجال ضيق جداً، بمعنى أن الكهرطيسية والثقالة كانتا حصراً القوتين الأساسيتين الواضحتين في الحياة اليومية (والقوتين الوحيدتين اللتين كانتا معروفتين أيام كان أينشتاين شاباً)؛ لكن الطبيعة تنطوي على قوى من نوع آخر تشمل القوتين النوويتين: الضعيفة والشديدة. والواقع أن التقدم الذي حدث بعدئذ باتجاه التوحيد قد نجح في توحيد نظرية القوة الكهرطيسية مع نظرية القوة النووية الضعيفة، لا مع نظرية القوة الثقالية حيث تبين أن مشكلة اللانهائيات أصعب بكثير مما كان يُظن. لكن كفاح أينشتاين هو كفاحنا اليوم: في سبيل البحث عن نظرية نهائية.

---

* اسم الله تعالى بالعبرانية. المترجم

يبدو أن الحديث عن نظرية نهائية يثير حنق بعض الفلاسفة ورجال العلم، وكأن أنصار هذه الفكرة متهمون بمذهب رهيب، كالاختزالية، أو حتى بأمبريالية فيزيائية. وهذا يعود جزئياً إلى ردة فعل إزاء الظنون العديدة السخيفة التي قد تُفهم من عبارة نظرية نهائية، كأن يُظن أن اكتشاف نظرية من هذا القبيل في الفيزياء من شأنه أن يكون نهاية العلم. والحقيقة أن النظرية النهائية لن تكون نهاية البحث العلمي، ولو كان بحثاً علمياً صرفاً، وحتى لو كان صرفاً في الفيزياء. إذ ما يزال يوجد في الطبيعة، بين اضطراب الموائع وملكة التفكير، ظواهر مذهلة تستحق التفسير أياً كانت النظرية النهائية المكتشفة. هذا حتى أن اكتشاف نظرية نهائية لن يساعد بالضرورة الفيزيائيين كثيراً على التقدم في فهم هذه الظواهر (وإن كان قد يساعد في بعضها). فالنظرية النهائية ستكون نهائية بمعنى واحد فقط: إنها سوف تضع نهاية لأحد أنواع العلم، أي للبحث العريق عن تلك المبادئ التي لا يمكن تعليلها بالاستناد إلى مبادئ أعمق منها.

الفصل الثاني

حول قطعة الطبشور

المهرّج: ... إن السبب في أن عدد النجوم ليس أكثر من سبعة سبب جميل.
الملك لير: لأنها ليست ثمانية!
المهرج: نعم، فعلاً. حقك أن تكون مهرجاً جيداً.

William Shaekspeare, King Lear

(الملك لير)

لقد اكتشف رجال العلم عدة أشياء طريفة، وعدة أشياء جميلة. ولكن قد يكون أجملها وأطرفها صورة العلم نفسه. ولكن اكتشافاتنا العلمية ليست وقائع معزولة مستقلة فيما بينها؛ أي أن لكل تعميم علمي تفسيراً في تعميم آخر يتفسر هو أيضاً بتعميم ثالث، وهكذا. وباتباع أسهم التفسير هذه نحو مصادرها اكتشفنا نقطة تلاق مذهلة ــ ربما كانت أعمق ما تعلمناه في شؤون هذا العالم الكوني.

تأمل في قطعة طبشور. إن الطبشور مادة شائعة يعرفها معظم الناس (شائعة خصوصاً لدى الفيزيائيين الذين يتفاهمون فيما بينهم على اللوح الأسود)، لكنني أتخذ الطبشور مثالاً هنا لأنه كان موضع مجادلة مشهورة في تاريخ العلم. ففي عام ١٨٦٨ عقدت الجمعية البريطانية اجتماعها السنوي في الكاتدرائية الكبيرة والعاصمة الإقليمية نورويتش، في شرق إنكلترا. وكان ذلك مناسبة مثيرة لرجال العلم والطلاب النابهين الذين توافدوا إلى تلك البلدة. كان انتباه الجمهور مشدوداً إلى العلم، لا لأن أهميته التقانية قد أصبحت واضحة فحسب، ولكن خصوصاً لأن العلم قد غيَّر طريقة تفكير الناس في العالم وفي موقعهم فيه. وفوق ذلك كله كان الكتاب الذي نشره داروين، حول أصل الأجناس بفعل الانتخاب الطبيعي، قبل ذلك بتسع سنوات، قد وضع العلم في الطرف المناقض للديانة السائدة عصرئذ. كان توماس هكسلي حاضراً في هذا الاجتماع ــ وهو عالم تشريح متميز ومجادل عنيف معروف لدى معاصريه باسم «بُلدُغ(*) داروين». وكعادته، استغل

* ضرب من الكلاب ضخم الرأس والجثة. — المترجم

هكسلي هذه المناسبة ليتحدث إلى العاملين في البلدة . كان عنوان محاضرته « حول قطعة طبشور » .

أحب أن أتصور هكسلي منتصباً على المنبر وبيده قطعة طبشور ربما كان قد اقتطعها من التشكيلات الطبشورية التي تقع عليها نورويتش ، أو استعارها من نجار أو أستاذ قديم ، فبدأ الكلام بالحديث عن كيفية امتداد طبقة الطبشور بعمق مئات الأقدام ، لا تحت معظم الأرض الإنكليزية فحسب، بل وتحت أوربا والمشرق أيضاً إلى أواسط آسيا . والطبشور بمعظمه مادة كيميائية بسيطة اسمها « فحمات الجير » أو ، باللغة العصرية ، كربونات الكلسيوم ؛ لكن الفحص المجهري يُظهر أنها مؤلفة من مستحاثات قوقعية لا حصر لعددها وهي حيوانات صغيرة جداً كانت تعيش في بحار قديمة كانت تغطي أوربا ذات يوم . ثم راح هكسلي يصف بحماس كيف انجرَّت عبر ملايين السنين هذه الأجسام إلى قعر البحر حيث ضُغطت معاً لتشكيل الطبشور ، وكيف حُبست هنا وهناك في الطبشور مستحاثات حيوانات أكبر ، كالتماسيح ، وحيوانات تظهر بمزيد من الاختلاف عن مقابلاتها الحديثة نصادفها على أعماق متزايدة في الطبشور ؛ وهكذا تطور حتماً ، في أثناء ملايين السنين ، الطبشور الذي توضَّع في الأعماق .

كان هكسلي يحاول إقناع العاملين في نورويتش بأن العالم أقدم جداً من الستة آلاف عام التي يذكرها أصحاب الكتاب المقدس وبأن أجناساً حية جديدة قد ظهرت وتطورت منذ بدء التاريخ . إن هذه المعلومات مؤكدة اليوم ــ إنك لن تجد أحداً ذا إلمام بالعلم يشك في عمر الأرض المديد أو في حقيقة التطور . لكن النقطة الأساسية التي أريد أن أعرضها هنا لا علاقة لها بأي من مواضيع المعرفة العلمية بل بأسلوب ترابطها كلها معاً . ولهذا السبب بدأت هذا الفصل من كتابي بقطعة الطبشور ، كما فعل هكسلي .

إن الطبشور أبيض . **لماذا** ؟ يوجد جواب فوري يقول بأنه أبيض لأنه ليس من أي لون آخر . وهذا جواب من شأنه أن يبهج مهرج الملك لير ، ولكنه في الواقع ليس بعيداً عن الحقيقة . وقد كان معروفاً في عصر هكسلي أن كل لون من ألوان قوس قزح يقابل ضوءاً ذا طول موجة محدد ــ الموجات الضوئية الأطول تذهب نحو نهاية الطيف الحمراء ، أما الأقصر فتذهب نحو الأزرق أو البنفسجي . أما الضوء الأبيض فكان معروفاً بأنه خليط من أضواء ذات أطوال موجية متخالفة ، وعندما يسقط الضوء على مادة غير شفافة كالطبشور ، فإن جزءاً منه فقط ينعكس ؛ أما الباقي فتمتصه المادة . والمادة التي لها لون معين ، كالأزرق المخضرّ لعدة مركبات نحاسية (فسفات الألمنيوم ، مثلا ، فيروزية اللون) أو اللون البنفسجي لمركبات

الكروم، إنما تكتسب هذا اللون لأن مادتها تنزع إلى امتصاص بعض الأطوال الموجية بشراهة؛ واللون الذي نراه في الضوء المنعكس عن المادة هو اللون المواكب للضوء ذي الأطوال الموجية التي **لا** تمتصها المادة بشراهة. أما في حال كربونات الكلسيوم، مادة الطبشور، فالواقع أن الضوء الذي تمتصه هذه المادة بشراهة نهمة ذو أطوال موجية تقع حصراً فيما تحت الأحمر وفوق البنفسجي، وهما «لونان» غير مرئيين بتاتاً. وهذا يعني أن الضوء هو سبب الإحساس بالبياض، سواء أمام الغيوم أو الثلج أو الطبشور.

لماذا؟ لماذا تمتص بعض المواد بشراهة ضوءاً مرئياً ذا أطوال موجية معينة، ويمتص سواها ألواناً أخرى؟ لقد تبين أن الجواب ذو صلة بطاقات الذرات والضوء. وقد بدأ فهم هذا الموضوع مع أعمال أينشتاين وبور في العقدين الأوليين من هذا القرن. فقد أدرك أينشتاين، عام ١٩٠٥، أن الشعاع الضوئي إنما يتألف من سيل غزير من الجسيمات، ندعوها اليوم **فوتونات**، ليس لها كتلة ولا شحنة كهربائية، لكن لكل واحد منها طاقة محددة متناسبة عكسياً مع طول الموجة الضوئية. ثم جاء بور عام ١٩١٣ بفكرة أن الذرات والجزيئات لا يمكن أن توجد إلا في **حالات** محددة هي تشكيلات استقرارية ذات طاقات معينة. ورغم أن الذرات غالباً ما تُشبَّه بمنظومات شمسية مصغرة، إلا أن بين هذه وتلك فرقاً جوهرياً. فالكوكب في المنظومة الشمسية يمكن زيادة طاقته قليلاً أو إنقاصها وذلك بتحريكه إلى مسافة أبعد عن الشمس أو أقرب إليها، في حين أن حالات الذرة **تقطعية**: أي أننا لا نستطيع أن نغير طاقة الذرة إلا بمقادير معينة محددة، وفي الظروف العادية تكون الذرة أو الجزيء في الحالة التي طاقتها أخفض ما يكون. وعندما تمتص الذرة أو الجزيء ضوءاً، فإنها عندئذ تقفز من حالة ذات طاقة منخفضة إلى حالة ذات طاقة أعلى (وبالعكس عندما تُصدر ضوءاً). وهكذا تنبئنا أفكار أينشتاين وبور مجتمعة بأن الضوء يمكن أن تمتصه الذرة أو الجزيء ولكن فقط إذا كان لطول موجته قيمة من مجموعة قيم معينة لا تشكل مجالاً استمرارياً، بل هي أطوال موجية تقابل طاقات فوتونية تساوي بالضبط الفرق الطاقي بين الحالة العادية، للذرة أو الجزيء، وبين إحدى الحالات ذات الطاقة الأعلى؛ وفي غير هذه الشروط لا يمكن للطاقة أن تنحفظ إذا حدث امتصاص للفوتون الوارد إلى الذرة أو الجزيء. ومركبات النحاس ذات لون أزرق مخضر لأن لذرة النحاس حالة خاصة ذات طاقة أعلى بفولتين اثنين من طاقة حالتها العادية؛ ومن السهل جداً على هذه الذرة أن تقفز إلى الحالة العليا بامتصاص فوتون طاقته فولتان اثنان(*). وطول الموجة المواكبة لهذا الفوتون يساوي ٦٢ر٠ مكرون، وهذا يقابل ضوءاً

---

* يُعرَّف الفولت، عندما يُستخدم كوحدة طاقية، بأنه الطاقة التي يكتسبها إلكترون واحد عندما يجتاز، في حقل كهربائي، فرق كمون مقداره فولت واحد، (عندما تُستخدم بهذا المعنى يكون من الأدق أن تسمى

برتقالياً محمرّاً ، مما يعني أن امتصاص هذه الفوتونات من بين جميع فوتونات الضوء الأبيض لا يترك منه للانعكاس سوى الضوء الأزرق المخضرّ . (إن هذه ليست طريقة رديئة للقول بأن هذه المركبات زرقاء مخضرّة ؛ فنحن نرى الصورة ذاتها للطاقات الذرية عندما نعطي ذرة النحاس طاقة بطرائق مختلفة ، كأن نستخدم حزمة من الإلكترونات) . فالطبشور أبيض لأن الجزئيات التي هو مصنوع منها لا تتمتع بامتلاك أية حالة يمكن القفز إليها بسهولة كبيرة من جراء امتصاص فوتونات من أي لون في ضوء مرئي .

لماذا ؟ لماذا تأخذ الذرات والجزيئات حالات تقطعية كل منها ذات طاقة محددة ؟ لماذا تكون هذه القيم الطاقية كما هي ؟ لماذا يأتي الضوء بشكل جسيمات إفرادية كل منها ذو طاقة متناسبة عكسياً مع طول موجة الضوء ؟ ثم لماذا كانت بعض حالات الذرات أو الجسيمات يسهل القفز إليها جداً بامتصاص فوتونات ؟ لم يكن من الممكن فهم هذه الخصائص التي يتمتع بها الضوء أو الذرات أو الجزيئات إلى أن حصل ، في عشرينيات هذا القرن ، تطور إطار جديد للفيزياء معروف باسم ميكانيك الكم . ففي هذا الميكانيك يتم توصيف الذرة أو الجزيء بما يسمى تابع الموجة . وهذا التابع يتصرف ، نوعاً ما ، تصرف موجة ضوئية أو صوتية ، ولكن قيمته (في الواقع مربع قيمته) تعطي احتمال العثور على الجسيم في أي مكان مُعطى . كل ذلك يحدث بالضبط على شاكلة ما يحدث للهواء في أنبوب الأُرغن ، حيث من المعلوم أن هذا الهواء لا يُتاح له أن يهتز إلا بأنماط اهتزازية محددة ، لكل منها طول موجته الخاص به ؛ وكذلك لا يُتاح لتابع الموجة الذي يصف الذرة أو الجزيء أن يظهر إلا بأنماط معينة ، أي في حالات كمومية لكل منها طاقته الخاصة به . ولدى تطبيق معادلات ميكانيك الكم على ذرة النحاس يتبين أن أحد الإلكترونات ، الموجودة في مدار خارجي من مدارات الذرة ذي طاقة عالية ، يكون ضعيف الارتباط بالذرة ، مما يتيح له سهولة القفز إلى المدار الأعلى الذي يليه وذلك بامتصاص ضوء مرئي . وتبين الحسابات في ميكانيك الكم أن طاقتي هاتين الحالتين في ذرة النحاس تختلفان فيما بينهما بفولتين اثنين ، وهذا الفرق يساوي طاقة فوتون الضوء البرتقالي المحمرّ(*) ومن جهة أخرى لا تمتلك جزيئات كربونات الكلسيوم ، في قطعة الطبشور ، أي إلكترون ذي ارتباط ضعيف يتيح لها أن تمتص فوتونات من أي لون مرئي ، وعلى هذه الشاكلة تتفسر خصائص الفوتونات بتطبيق مبادئ ميكانيك الكم على

« إلكترون فولت » ؛ ولكنني ، كما هو شائع في الفيزياء ، سوف أسميها فولت فقط) . المكرون جزء من مليون من المتر .

★ إن هذه الإلكترونات الخارجية في معدن ما تغادر ذراتها وتتجول بينها ، مما يحرم النحاس المعدني من شراهته لامتصاص فوتونات الضوء البرتقالي ويجعله غير ذي لون أزرق مخضر .

الضوء نفسه ؛ وقد تبين أيضاً أن الضوء ، كالذرات ، لا يمكن أن يوجد إلا في حالات كمومية ذات طاقات محددة . فالضوء البرتقالي المحمر ، مثلاً ، الذي طول موجته ٦٢ر٠ مكرون ، لا يمكن أن يوجد إلا في حالات تحوي فوتونات عددها صفر أو واحد أو اثنان أو ثلاثة أو أكثر ، ولكل واحد من هذه الفوتونات طاقة تساوي ٢ فولت بالضبط .

لماذا ؟ لماذا كانت معادلات ميكانيك الكم ، التي تحكم الجسيمات في الذرة ، كما هي ؟ لماذا تتألف المادة من هذه الجسيمات : الإلكترونات والنوى الذرية ؟ وفي هذا السياق ، لماذا يوجد مثل هذا الشيء الذي نسميه ضوءاً ؟ كانت معظم هذه الأشياء ، تشبه الألغاز في العشرينيات والثلاثينيات من هذا القرن ، أيام تطبيق ميكانيك الكم للمرة الأولى على الذرات والضوء ، ولم تتضح مراميها بشكل معقول إلا في السنين الخمس عشرة الأخيرة أو نحوها ، مع نجاح ما يسمى **النموذج المعياري** للجسيمات والقوى . كان الشرط الأساسي في الأربعينيات لحصول هذا الفهم الجديد إجراء توافق بين ميكانيك الكم والنظرية العظيمة الثورية الأخرى التي طرأت على فيزياء القرن العشرين ، نظرية أينشتاين النسبوية . إن بين مبادئ النسبية ومبادئ ميكانيك الكم شيئاً يشبه التناقض ، ولا يمكن لهما أن يتعايشا إلا في صنف محدد من النظريات . كنا في ميكانيك الكم غير النسبوي ، في العشرينيات ، (شبه) قادرين على تصور أي نوع من القوى بين الإلكترونات ونوى الذرات ؛ لكننا سنرى فيما بعد أن الأمر ليس كذلك في نظرية كمومية نسبوية ، حيث لا تنشأ قوى بين الجسيمات إلا بتبادل جسيمات أخرى . زد على ذلك أن هذه الجسيمات كلها هي رزم طاقية ، أو**كموم** ، من حقول مختلفة الأنواع . إن الحقل ، كالحقل الكهربائي والحقل المغنطيسي ، ضرب من « التوتر » كامن في الفضاء ، شيء يشبه شتى أنواع القوى السائدة في جسم صلب ، لكن الحقل توتر سائد في الفضاء . ولكل نوع من أنواع الجسيمات العنصرية نوع حقلي واحد ؛ فللإلكترون حقله في النموذج المعياري ، وليست الإلكترونات سوى كموم هذا الحقل ؛ وهناك حقل كهرطيسي (قوامه الحقلان : الكهربائي والمغنطيسي) كمومه الفوتونات ؛ لكن لا يوجد حقل للنوى الذرية ولا للجسيمات (كالبروتونات والنترونات) التي تتألف منها هذه القوى ؛ ولكن توجد حقول لشتى أنواع الجسيمات المسماة كواركات ، التي يتألف منها البروتون والنترون ؛ كما يوجد بضعة حقول أخرى لا حاجة للكلام عنها الآن . ومعادلات النظريات الحقلية ، كنظرية النموذج المعياري ، لا تتناول الجسيمات بل الحقول . ويعود السبب في أن المادة مصنوعة من إلكترونات وبروتونات ونترونات إلى أن الجسيمات الوازنة الأخرى قلقة جداً ، سرعان ما تتفكك . والنموذج المعياري يُعدّ تفسيراً لأنه ليس مجرد تشكيلة متناثرة هنا وهناك بطريقة لا تواصل فيها ، بل إن بنيته يتعين معظمها بمجرد أن تُعرف قائمة أجناس الحقول التي يجب أن ينطوي عليها والمبادئ العامة (كمبادئ النسبية وميكانيك الكم) التي تحكم تفاعلاتها .

لماذا؟ لماذا كان العالم مصنوعاً من هذه الحقول بالذات: حقول الكواركات والإلكترون والفوتون وما إلى ذلك؟ ولماذا كان لها الخصائص المفترضة في النموذج المعياري؟ وبهذا الخصوص، لماذا تطيع الطبيعة مبادىء النسبية وميكانيك الكم؟ إن هذه الأسئلة ما تزال، مع الأسف، بدون جواب. وتعليقاً على وضعية الفيزياء الحالية طرح الفيزيائي النظري، ديفيد غروس من جامعة برنستون، قائمة تحوي الأسئلة المفتوحة: «الآن وقد فهمنا كيف تعمل [الفيزياء] بدأنا نسأل لماذا يوجد كواركات ولبتونات، ولماذا كانت صورة المادة مدوَّنة في ثلاثة أجيال من الكواركات واللبتونات، ولماذا كانت القوى كلها ناجمة عن تناظرات موضعية عيارية؟ لماذا ولماذا ولماذا؟» (سوف نشرح في فصول لاحقة المسميات الواردة في قائمة «لماذات» غروس). إن الأمل في الإجابة عن هذه الأسئلة هو الذي يجعل فيزياء الجسيمات العنصرية مثيرة لهذه الدرجة.

إن كلمة «لماذا» تنطوي على مزالق كثيرة. وقد أحصى الفيلسوف إرنست نيغل عشرة نماذج من أسئلة تُستخدم فيها كلمة «لماذا» بعشرة معان متخالفة، على شاكلة «لماذا يطفو الجليد على سطح الماء؟» و«لماذا خطط كاسيوس لموت قيصر؟» و«لماذا كان للكائنات البشرية رئات؟» وهناك أسئلة أخرى تُستخدم فيها «لماذا» بمعان أخرى تخطر بالذهن فوراً، مثل «لماذا وُلدت أنا؟» واستخدامي هنا لكلمة «لماذا» يشبه نوعاً ما استخدامها في السؤال: «لماذا يطفو الجليد على سطح الماء؟» وليس القصد منه أن يوحي بأي معنى مستهدف محسوس.

وعلى غرار ذلك، فإن من المهام الحرجة أن يشرح المرء بالضبط ما يفعله أحدهم عندما يجيب عن أسئلة من هذا القبيل. لكن ذلك ليس ضرورياً حقاً لحسن الحظ. فالتفسير العلمي أسلوب من السلوك يمنحنا المتعة، كالحب أو الفن. وخير طريقة لفهم طبيعة التفسير العلمي هي أن تجرب المتعة الخاصة التي تشعر بها عندما ينجح أحدهم (أنت خصوصاً) فعلاً في تفسير شيء ما. وأنا لا أعني أن التفسير العلمي يمكن إدراكه بدون قيود، مستلزماتٍ لا تزيد عما في الحب أو الفن. ففي هذه الأحوال الثلاث كلها يوجد معيار من الحقيقة يجب احترامه، رغم أن الحقيقة تتخذ بالطبع معاني مختلفة في العلم أو الحب أو الفن. كما أنني لا أعني أن لا فائدة البتة من محاولة إعطاء شرح عام لكيفية صنع العلم، لكن ذلك ليس ضرورياً حقاً في ممارسة العلم، ليس أكثر ضرورة مما في مجال الحب أو الفن.

إن التفسير العلمي، بالشكل الذي شرحته، ذو صلة واضحة باستنتاج حقيقة من حقيقة أخرى. لكن في التفسير أكثر مما في الاستنتاج، وكذلك أقل. فمجرد استنتاج مقولة

من مقولة أخرى ليس بالضرورة تفسيراً ، كما نرى بوضوح في الحالات التي تتصف بإمكانية استنتاج أي من المقولتين من المقولة الأخرى . فقد استدل أينشتاين على وجود الفوتونات ، عام ١٩٠٥ ، من نجاح نظرية الإشعاع الحراري التي كان بلانك قد اقترحها قبل خمس سنوات ؛ ثم كان بعد تسع عشرة سنة أن برهن ساتياندرا ناث بوز على أن نظرية بلانك يمكن استنتاجها من نظرية أينشتاين الفوتونية . إن التفسير ، بخلاف الاستنتاج ، يحصل في اتجاه واحد . فنحن لدينا شعور غامر بأن النظرية الفوتونية في الضوء أساسية أكثر من أية مقولة أخرى بخصوص الإشعاع الحراري ، فهي إذن تفسير لخصائص الإشعاع الحراري . وعلى غرار ذلك ، ورغم أن نيوتن قد استنبط بعض قوانينه الحركية المشهورة من قوانين كبلر السابقة التي تصف حركات الكواكب في المنظومة الشمسية ، نقول بأن قوانين نيوتن تفسر قوانين كبلر ، لا العكس .

إن الحديث عن حقائق أكثر أساسية يثير أعصاب الفلاسفة . ونحن نقول إن الحقائق الأكثر أساسية هي تلك التي ، بمعنى ما ، أشمل من سواها ؛ ولكن من الصعب أيضاً أن نكون أكثر دقة بهذا الخصوص . بيد أن رجال العلم كانوا سيسلكون طريقاً سيئاً لو أنهم اقتصروا على الأفكار التي يصوغها الفلاسفة صياغة مرضية . ولن تجد فيزيائياً ممارساً يشك في أن قوانين نيوتن أكثر أساسية من قوانين كبلر أو أن نظرية أينشتاين الفوتونية أكثر أساسية من نظرية بلانك في الإشعاع الحراري .

والتفسير العلمي يمكن أيضاً أن يكون شيئاً أقل من الاستنتاج ، لأننا قد نقول عن حقيقة بأنها تتفسر بمبدأ ما ، رغم أننا لا نستطيع استنتاجها من ذلك المبدأ . فباستخدام قواعد ميكانيك الكم **نستطيع** أن نستنتج خصائص شتى لأبسط الذرات والجزيئات ، وحتى أن نُقدر المستويات الطاقية لجزيئات معقدة ككربونات الكلسيوم في الطبشور . وبهذا الصدد يقول الكيميائي هنري شيفَر : « عندما تطبق الطرائق النظرية الحالية بمهارة على عدة مسائل تتناول جزيئات بضخامة النفتلين ، يمكن أن نعامل النتائج كما نعامل نتائج تجارب موثوقة » . ولكن لا يستطيع أحد أن يحل فعلياً معادلات ميكانيك الكم لاستنتاج التابع الموجي التفصيلي ، أو الطاقة الدقيقة ، لجزيئات شديدة التعقيد كالبروتينات . ومع ذلك لا نشك بتاتاً في أن قواعد ميكانيك الكم « تفسر » خصائص مثل هذه الجزيئات . وهذا يعود جزئياً إلى أننا قادرون على استخدام ميكانيك الكم لاستنتاج الخصائص التفصيلية لمنظومات أبسط ، كجزيئات الهدروجين ، وكذلك لأننا نملك قواعد رياضية جاهزة تتيح لنا أن نحسب جميع خصائص أي جزيء بالدقة التي نريدها إذا كان لدينا حاسوب ملائم يُتاح لنا استخدامه لفترة كافية .

زد على ذلك أن لنا الحق في أن نقول عن شيء إنه « متفسر » ، حتى ولو كنا غير متأكدين من أننا سنكون ذات يوم قادرين على استنتاجه . فنحن مثلاً لا نعرف كيف نستخدم نموذجنا المعياري ، نموذج الجسيمات العنصرية ، لحساب تفاصيل خصاص النوى الذرية ، ولسنا متأكدين من أننا سنعرف ذات يوم كيفية إجراء هذه الحسابات ، ولو كنا نملك حاسوباً لا حدود لمقدرته . (ذلك لأن القوى في النواة أشد من أن تتيح استعمال التقنيات الحسابية الشغالة من أجل الذرات والجزئيات) . ومع ذلك لا نشك بأن خصائص النوى الذرية هي كما هي بسبب ما نعرفه عن مبادئ النموذج المعياري المعروفة . وإن كلمة « بسبب » هنا لا علاقة لها بقدرتنا الحالية على استنتاج أي شيء ، لكنها تعكس وجهة نظرنا في نظام الطبيعة .

إن لُدفيغ وتغنشتاين ، الذي ينكر حتى إمكانية شرح أي واقع بواقع آخر ، يُحذر قائلاً : « إن في أساس النظرة الحديثة إلى العالم يقبع الوهم بأن ما يسمى قوانين الطبيعة هي تفسيرات الظواهر الطبيعية » . لكنني لا آبه لهذا التحذير . ذلك لأن إخبار الفيزيائي بأن قوانين الطبيعة ليست تفسيرات للظواهر الطبيعية يشبه إخبار نمر يطارد فريسة بأن اللحم كله عشب . ولئن كنا ، كرجال علم ، لا نعرف كيف نعبر بطريقة تُرضي الفلاسفة ، عما نقصده في البحث عن تفسيرات علمية ، فإن ذلك لا يعني أننا لا نفعل شيئاً ذا قيمة . ولئن كنا نستطيع أن نستعين بالفلاسفة المحترفين لفهم هذا الذي نحن بصدد فعله ، إلا أننا ، بمساعدتهم أو بدونها ، سوف نواظب عليه .

لقد كنا نستطيع الاستمرار في سلسلة « لماذا » لكل خاصة فيزيائية من خصائص الطبشور ــ هشاشته وكثافته ومقاومته لسريان الكهرباء . ولكن دعونا ندخل في متاهة التفسير عبر باب آخر ــ على أساس كيمياء الطبشور . فالطبشور بمعظمه ، كما يقول هكسلي ، يتألف من فحمات الجير أو ، بالتعبير الحديث ، من كربونات الكلسيوم . إن هكسلي لم يعبر هكذا ، بل إنه كان على الأرجح يعرف أن هذه المادة الكيميائية تتألف من عناصر ، الكلسيوم والكربون والأكسجين ، بنسب ثابتة (وزنية) : ٤٠ ٪ و١٢ ٪ و٤٨ ٪ على الترتيب .

لماذا ؟ لماذا يوجد مركب كيميائي من الكلسيوم والكربون والأكسجين بهذه النسب بالضبط ؟ لقد صنع كيميائيو القرن التاسع عشر جواباً بلغة نظرية ذرية وقبل أن يوجد أي برهان تجريبي على وجود الذرات . إن أوزان الكلسيوم والكربون والأكسجين هي بالنسب ٤٠ / ١٢ / ١٦ ، ويتألف جزيء كربونات الكلسيوم من ذرة كلسيوم واحدة وذرة كربون واحدة **وثلاث** ذرات أكسيجين ، مما يجعل نسب أوزان هذه العناصر في كربونات الكلسيوم كما يلي : ٤٠ / ١٢ / ٤٨ .

لماذا؟ لماذا كان لذرات العناصر المختلفة الأوزان التي نقيسها، ولماذا تتألف الجزيئات من عدد معين بالضبط من ذرات كل نوع؟ لقد كانت أعداد ذرات كل نوع في جزيئات، ككربونات الكلسيوم، معروفة في القرن التاسع عشر بأنها تعود إلى الشحنات الكهربائية التي تتبادلها الذرات فيما بينها ضمن الجزيء. ففي عام ١٨٩٧ اكتشف ثمسون أن هذه الشحنات الكهربائية محمولة على جسيمات سالبة الشحنة تسمى إلكترونات، وهي أخف بكثير من الذرات وتسري في الأسلاك بشكل تيار كهربائي عادي. ولا يختلف عنصر كيميائي عن آخر إلا بعدد الإلكترونات في الذرة: إلكترون واحد في ذرة الهدروجين، ستة في ذرة الكربون، ثمانية في ذرة الأكسجين، عشرون في ذرة الكلسيوم، وهكذا. ولدى تطبيق ميكانيك الكم على ذرات جزيئات كربونات الكلسيوم في الطبشور يتبين أن ذرتي الكلسيوم والكربون تتنازلان عن إلكترونين وأربعة إلكترونات، بالترتيب، وأن ذرات الأكسجين تلتقط بسهولة إلكترونين، مما يجعل مجموع ما تلتقطه ذرات الأكسجين الثلاث، في جزيء كربونات الكلسيوم، الإلكترونات الستة التي تنازلت عنها ذرتا الكلسيوم والكربون، أي يوجد عدد من الإلكترونات كافٍ لهذا التبادل. والقوة الكهربائية التي تنشأ عن انتقال هذه الإلكترونات هي التي تضمن تماسك الجزيء. وماذا بشأن الأوزان الذرية؟ لقد عرفنا من أعمال رذرفورد، عام ١٩١١، أن كل كتلة الذرة، أو وزنها، تقريباً موجودة في نواة صغيرة ذات شحنة موجبة تدور الإلكترونات حولها. وبعد فترة غموض قصيرة تبيَّن بوضوح، في ثلاثينيات هذا القرن، أن النواة الذرية مصنوعة من نوعين جسيميين لهما كتلة واحدة تقريباً: البروتونات، ويحمل كل منها شحنة موجبة تساوي في القيمة شحنة الإلكترون، والنترونات التي هي جسيمات عديمة الشحنة. ونواة الهدروجين تتألف من بروتون واحد فقط. وبما أن الذرة حيادية كهربائياً، لا بد أن يكون عدد بروتونات النواة مساوياً عدد إلكترونات الذرة؛ أما النترونات فهي ضرورية لأن التجاذب الشديد بين البروتونات والنترونات شيء جوهري لضمان تماسك النواة. والإلكترون أخف بكثير من البروتون ومن النترون، المتساويي الكتلة تقريباً، مما يمكن معه أن نقول، بتقريب جيد، إن وزن الذرة متناسب مع مجموع عددي بروتونات ونترونات نواتها: بروتون واحد في الهدروجين، اثنا عشر في الكربون، ستة عشر في الأكسجين، أربعون في الكلسيوم، وهي تقابل الأوزان الذرية المعروفة، ولكنها لم تكن بعد قد فُهمت بهذا الشكل في عصر هكسلي.

لماذا؟ لماذا يوجد البروتون والنترون، أحدهما مشحون والآخر حيادي، ولكليهما كتلة واحدة وأثقل بكثير من كتلة الإلكترون؟ ولماذا يتجاذبان بقوة شديدة لدرجة أن يتشكل بمجموعهما معاً نواة أصغر بمئات آلاف المرات من الذرات نفسها؟ إننا نجد تفسير ذلك، هنا أيضاً، في تفاصيل نموذجنا المعياري الحالي للجسيمات العنصرية. إن أخف الكواركات

في هذا النموذج هما الكواركان المدعوان u و d (u : « up : علوي » -d : « douvn : سفلي ») ، ولهما شحنتان تساويان ، على الترتيب $\frac{٢}{٣}$ و – $\frac{١}{٣}$ (على اعتبار أن شحنة الالكترون تساوي – ١) ؛ والبروتون مصنوع من كواركين u وكوارك واحد d ، مما يجعل شحنته مساوية $\frac{٢}{٣}$ + $\frac{٢}{٣}$ – $\frac{١}{٣}$ = + ١ ؛ ويتألف النترون من كواركين d وكوارك واحد u ، مما يجعل شحنته مساوية $\frac{٢}{٣}$ – $\frac{١}{٣}$ – $\frac{١}{٣}$ = صفر . وسبب التساوي التقريبي بين كتلتي البروتون والنترون يعود بمعظمه إلى القوى الشديدة التي تمسك بالكواركات معاً ، وهي قوى لا تختلف من أجل الكواركين u و d . والإلكترون أخف بكثير لأنه لا يتأثر بهذه القوى الشديدة . وكل هذه الكواركات والإلكترونات هي رزم من طاقة حقول شتى ، وخصائصها تنبع من خصائص هذه الحقول .

وهكذا نجد أنفسنا هنا أمام النموذج المعياري . والواقع أن كل واحد من الأسئلة في ميدان الخصائص الفيزيائية والكيميائية لكربونات الكلسيوم يقودنا ، بالطريقة نفسها وعبر سلسلة لماذات ، إلى نقطة التلاقي نفسها : إلى نظريتنا الميكانيكية الكمومية في الجسيمات العنصرية ، أي النموذج المعياري . لكن الفيزياء والكيمياء سهلتان ، فما بالك بالميدان الصعب ، كالبيولوجيا ؟

إن قطعة الطبشور ليست ببلورة مثالية من كربونات الكلسيوم ، ولكنها ليست أيضاً خبيصة جزئيات فرادى ، كالغاز ؛ بل هي ، كما قال هكسلي في خطابه في نورويتش ، مصنوعة بالأحرى من الهياكل العظمية لحيوانات صغيرة امتصت أملاح الكلسيوم وثنائي أكسيد الكربون من البحار القديمة واستخدمت هذه المركبات الكيميائية كمواد أولية لصنع قواقع صغيرة من كربونات الكلسيوم حول أجسامها الرخوة . ولا حاجة للتخيل كي نعرف أن ذلك كان لمصلحتها ـــ فليس البحر مكاناً مأموناً لفتات بروتيني غير محمي . لكن هذا لا يفسر بحد ذاته لماذا تطوِّر النباتات والحيوانات أعضاء كالقواقع المذكورة تساعدها على البقاء ؛ فالحاجة للشيء ليست الحصول عليه . لقد جاء مفتاح هذه القضية من أعمال داروين ووالاس التي عمل هكسلي الكثير لإذاعتها والدفاع عنها . إن الكائنات الحية تبدي تباينات موروثة ـــ بعضها مساعد وبعضها غير مساعد ـــ بيد أن الأحياء التي اتفق لها أن تنجز تباينات مساعدة هي التي لها حظ في البقاء وفي توريث هذه المزايا لسلالتها . ولكن ما سبب حصول هذه التباينات ، ولماذا هي وراثية ؟ لقد أمكن أخيراً ، في خمسينيات هذا القرن ، تفسير ذلك بلغة بنية جزيء كبير جداً ، يسمى اختصاراً **الدنا** ، DNA ، يفيد

كنموذج في بناء بروتينات لبناتُها تختزن المعلومات الوراثية مُرمَّزةً بوحدات كيميائية تتوالى بترتيب معين على طول طاقي الفتيلة . وتنتقل المعلومات الوراثية بعملية ينفصل فيها طاقا الفتيلة ثم يبدأ كل منهما بتجميع نسخة أخرى من نفسه ؛ وتحدث التباينات عندما يطرأ حادث اضطرابي على الوحدات الكيميائية التي تصنع طاقي الفتيلة .

عندما ننزل إلى مستوى الكيمياء يصبح الباقي بسيطاً نسبياً . ولئن كان الدنا أعقد من أن يتيح استخدام معادلات ميكانيك الكم لاستخراج بنيته ، إلا أن هذه البنية تُفهم بشكل كافٍ من خلال قواعد الكيمياء العادية ، ولا يشك أحد في أننا نستطيع من حيث المبدأ شرح كل خصائص الدنا بأن نحل بحاسوب كبير معادلات ميكانيك الكم من أجل إلكترونات ونوى بضعة عناصر شائعة تتفسر خصائصها بالنموذج المعياري ، وبذلك نجد أنفسنا من جديد عند نفس نقطة تلاقي أسهم التفسير التي تكلمنا عنها .

لقد أغفلتُ فرقاً هاماً بين البيولوجيا والعلوم الفيزيائية : العنصرَ التاريخي ، فإذا عنينا بكلمة « طبشور » « مادة جروف دوفِر البيضاء » أو « الشيء الذي بيد هكسلي » ، عندئذ يجب أن تجد المقولةُ ، التي تنص على أن الطبشور هو ٤٠٪ كلسيوم و١٢٪ كربون و٤٨٪ أكسيجين ، تفسيرها في خليط من اعتبارات عامة واعتبارات تاريخية ، بما في ذلك الحوادث التي طرأت تاريخياً على كوكبنا الأرضي أو على حياة هكسلي . والمقترحات التي يمكن أن نستعملها للتفسير بلغة القوانين النهائية للطبيعة هي المقترحات التي تختص بالعموميات ، ومن جملتها مثلاً مقولة أن هناك (في ظروف سخونة وضغط منخفضين بشكل كافٍ) مركباً كيميائياً مؤلفاً بالضبط من هذه النسب من الكلسيوم والكربون والأكسيجين . وعندئذ نفهم أن أمثال هذه المقولات صحيحة في كل مكان من العالم وفي كل عصر . وبالطريقة ذاتها نستطيع أن نصنع مقترحات عامة حول خصائص الدنا ؛ لكن وجود مخلوقات حية على الأرض تستخدم الدنا للاستمرار عشوائياً في إنجاز تغيرات من جيل للذي يليه هو واقع منوط ببعض الطوارئ التاريخية : وجود كوكب مثل الأرض ؛ وبدء حياة ووراثة بطريقة ما ؛ وزمن طويل انقضى لضمان أن يفعل التطور فعله .

إن البيولوجيا ليست العلم الوحيد الذي يطلب هذا العنصر التاريخي . بل إن هذه المقولة تنسحب على عدة علوم أخرى ، كالجيولوجيا وعلم الفلك . هب أننا التقطنا قطعة الطبشور مرة أخرى وتساءلنا : لماذا يوجد على الأرض من الكلسيوم والكربون والأكسيجين ما يكفي لتوفير المواد الأولية لصنع القواقع المستحاثة التي هي أصل الطبشور ؟ هذا سؤال سهل ــ إن هذه العناصر شائعة في معظم أرجاء العالم ، ولكن لماذا هي شائعة ؟ مرة أخرى

نحتاج إلى مزيج من التاريخ والمبادئ العالمية الشمول . فباستخدام النموذج المعياري للجسيمات العنصرية نعلم كيف تتسلسل مسيرة التفاعلات النووية في نظرية «الإنفجار الأعظم» المعتمدة في نشوء هذا الكون ، وذلك بمعلومات تكفي لتجعلنا قادرين على أن نستنتج بالحساب أن المادة التي تشكلت في الدقائق القليلة الأولى من عمر الكون كان ثلاثة أرباعها تقريباً من الهدروجين والربع الآخر من الهليوم مع آثار فقط من العناصر الأخرى ، أكثرها من النوع الخفيف جداً كالليتيوم . هذه هي المواد الأولية التي تشكلت منها فيما بعد العناصر الأثقل في النجوم . وبحساب المسيرة اللاحقة للتفاعلات النووية في النجوم تبين أن العناصر التي تشكلت بأكبر وفرة هي العناصر التي نواها ذات تماسك شديد ، ومنها الكربون والأكسيجين والكلسيوم . ثم تخلصت النجوم من هذه المواد قاذفة إياها في الفضاء بين النجوم ، وذلك بطرائق شتى ، بالرياح النجمية وانفجارات المستعمرات الفائقة Supernova ؛ ومن هذا الوسط ، الغني بمكونات الطبشور ، تشكل الجيل الثاني من النجوم ، كالشمس وكواكبها . لكن هذه المسرحية تظل منوطة بفرضية تاريخية ـــ أي حصول انفجار أعظم شبه متجانس كان يحوي قرابة عشرة مليارات فوتون من أجل كل كوارك واحد . وتبذل اليوم جهود كثيرة لتفسير هذه الفرضية في نظريات كونية تكهنية ، لكن هذه النظريات مستمدة بدورها من افتراضات تاريخية أخرى .

نحن لا نعلم بوضوح ما إذا كان هذان العنصران ، الكوني والتاريخي ، في علومنا سيظلان منفصلين إلى الأبد . والواقع أن في ميكانيك الكم ، كما في الميكانيك النيوتني ، انفصالاً واضحاً بين الظروف التي تنبئ عن الحالة البدئية للمنظومة (سواء كانت المنظومة العالَم كله أم جزءاً منه) وبين القوانين التي تحكم تطور المنظومة اللاحق . ولكن قد يتبين في نهاية الأمر أن الظروف البدئية جزء من قوانين الطبيعة . وكمثال بسيط واحد عن إمكانية ذلك نذكر ما يُستمد من النظرية ، المسماة في علم الكون نموذج الحالة المستديمة والتي اقترحها هرمان بندي وتوماس غولد وكذلك فريد هويل (بنسخة مختلفة قليلاً) ، في أواخر الأربعينيات . ففي هذه النظرية ، وبرغم هروب المجرات بعضاً من بعض (وهو واقع يُعبر عنه غالباً بمقولة مضللة نوعاً ما ، وهي أن العالم يتوسع)(*) ، تتخلق باستمرار مادة جديدة تملأ الخلاءات التي بين المجرات المتباعدة ، وذلك بمعدل يكفي بالضبط لكي يظهر العالم الكوني بالمظهر نفسه على الدوام . ونحن لا نملك نظرية معقولة عن كيفية حصول الخلق المستمر

(*) إن القول بتوسع العالم تعبير مضلل ، لأن المنظومات الشمسية والمجرات لا تتوسع ، والفضاء نفسه لا يتوسع . بل إن المجرات تتباعد فيما بينها بالطريقة التي تسلكها أي غيمة من الجسيمات بمجرد أن تعطى حركة تباعد بعضاً عن بعض .

للمادة ؛ ولكن من المقبول أننا ، لو كنا نملك نظرية من هذا القبيل ، قد نكون قادرين على البرهان على أن توسع العالم يسير إلى حالة يحصل فيها توازن تام بين معدَّلي تخلق المادة والتوسع ، على شاكلة حصول استقرار في الأسعار عندما يتساوى الإنتاج والطلب . ففي نظرية حالة مستديمة من هذا القبيل لا يوجد ظروف بدئية ، بسبب عدم وجود بدء ، بل يمكن أن نستنتج مظهر العالم من شرط أنه لا يتغير .

إن نظرية الحالة المستديمة في علم الكون قد استُبعدت بنتيجة أرصاد فلكية متنوعة ، منها خصوصاً اكتشاف الإشعاع المكروي ، عام ١٩٦٤ ــ الذي يبدو من بقايا العصر الذي كان فيه الكون أسخن بكثير جداً وأكثف مما هو الآن . ولكن قد يتاح لفكرة الحالة المستديمة أن تنبعث من جديد (في مدى) أوسع ، في نظرية كونية مستقبلية يظهر فيها أن توسع العالم الراهن مجرد تفاوت في عالم خالد ولكنه يعاني على الدوام تفاوتات حول حالة وسطية تظل كما هي . ولكن يوجد أيضاً طرائق أكثر رهافة قد يمكننا ذات يوم أن نستنبط بوساطتها الظروف البدئية من القوانين النهائية ؛ فقد اقترح جيمس هارتل وستيفن هوكنغ طريقة تتيح التوصل إلى اندماج الفيزياء مع التاريخ من تطبيق ميكانيك الكم على العالم بأكمله . فعلم الكون اليوم موضع جدال ناشط بين النظريين ؛ والمسائل الفكرية والرياضية صعبة جداً ، ولا يبدو أننا نسير نحو أي استنتاجات محددة .

وعلى كل حال ، وحتى لو استطعنا في النهاية أن نُدخل ظروف العالم البدئية في قوانين الطبيعة أو أن نستنتجها منها ، كقضية عملية ، لن نستطيع أبداً أن نستغني عن عنصري الطوارئ والتاريخ في علوم كالبيولوجيا وعلم النجوم والجيولوجيا . وقد استخدم غولد المستحاثات الغريبة التي وجدت في صخور بورجيس المسامية في كولمبيا البريطانية لتوضيح قلة ما لا يمكن تحاشيه في صورة التطور البيولوجي على الأرض . فأية منظومة ، ولو كانت بسيطة جداً ، يمكن أن تبدي ظاهرة اسمها **الشَّوْش** Chaos (ضرب من الفوضى) تتحدى جهودنا المبذولة للتنبؤ بمستقبل المنظومة . والمنظومة الشوشية جملة مادية قد يتفق لها ، ولو انطلقت من ظروف بدئية شبه متطابقة ، أن تصل بعد فترة من الزمن إلى ظروف متخالفة تماماً . وقد حدث منذ بداية هذا القرن اكتشاف شوش في منظومات بسيطة ؛ وقد برهن الرياضي والفيزيائي هنري بوانكاريه على أن هذا الشوش يمكن أن ينشأ حتى في منظومات لا تتعدى في بساطتها منظومة شمسية ذات كوكبين فقط . وعلى هذا الأساس كانت الفراغات المظلمة في حلقات الكوكب زُحل تُعتبر ، لعدة سنوات ، أنها قد تولدت بالضبط في أماكن من الحلقة تعرضت فيها الجسيمات الدائرة إلى شوش أبعدها عن تلك الأماكن . إن الجديد

والمثير في دراسة الشوش ليس اكتشاف وجوده ، بل اكتشاف أن بعض أنواعه تتجلى بخصائص شبه عامة يمكن تحليلها رياضياً .

إن وجود الشوش لا يعني أن سلوك منظومة ، كحلقات زحل ، لا يتعين البتة بقوانين الحركة والثقالة والظروف البدئية للمنظومة ، بل ينحصر مفعوله ، على الصعيد العملي ، في أننا لا نستطيع أن نحسب كيفية تطور بعض الأشياء (كالجسيمات الدائرة في الفراغات المظلمة من حلقات زحل) . وللتعبير عن ذلك بتدقيق أكبر قليلاً نقول : إن وجود الشوش ، في منظومة ما ، يعني أن هذه المنظومة ، بالغاً ما بلغت دقة تعيين ظروفها البدئية ، سوف يأتي عليها زمن نفقد فيه كل قدرة على التنبؤ بكيفية تصرفها المستقبلي ؛ ولكن يبقى صحيحاً ، مهما بَعُد المستقبل الذي نريد أن نكون فيه قادرين على التنبؤ بسلوك منظومة فيزيائية محكومة بقوانين نيوتن ، أن هناك درجة من الدقة ، في قياس الظروف البدئية ، من شأنها أن تتيح لنا صنع هذا التنبؤ . (إن السيارة التي تستمر في السير سوف تستهلك في النهاية كل بنزينها مهما كان مقدار ما وضعنا منه في خزانها ؛ ولكن يبقى صحيحاً ، مهما بَعُد المكان الذي نقصده ، أن في هذا الخزان ما يكفي للوصول إليه) . وبتعبير آخر نقول إن اكتشاف الشوش لا يلغي حتمية فيزياء ما قبل ميكانيك الكم ، ولكنه يجبرنا فعلاً على أن ندقق أكثر قليلاً فيما نعنية بكلمة حتمية . فميكانيك الكم ليس حتمياً بنفس معنى الحتمية في الميكانيك النيوتني ، ومبدأها يزنبرغ في الارتياب ينبئ بأننا غير قادرين على قياس موضع جسيم ما وسرعته في آن واحد معاً وبالدقة التي نريد ، وأننا ، حتى لو أجرينا كل القياسات الممكنة في وقت واحد ، لا نستطيع أن نتنبأ ، بخصوص أية تجربة لاحقة ، إلا **باحتمالات** نتائجها . ومع ذلك سنرى أن في ميكانيك الكم أيضاً ما يعني أن سلوك أية منظومة فيزيائية معين تماماً بظروفها البدئية بقوانين الطبيعة .

ولكن مهما كانت الحتمية المتبقية مبدئياً ، فإنها لن تساعدنا كثيراً عندما نضطر إلى التعامل مع منظومات واقعية غير بسيطة ، كسوق السلع المخزونة أو الحياة على الأرض . ذلك أن تدخل الطوارئ التاريخية يضع على الدوام حدوداً على ما يمكن أن نأمل في تفسيره . فكل تفسير لأشكال الحياة الراهنة على الأرض يجب أن يأخذ بالحسبان انقراض الدينوصورات منذ خمسة وستين مليون عام ، وهو حادث طارئ يقال إن سببه يعود إلى اصطدام نيزك بالأرض ؛ ولكن ما من أحد سوف يستطيع أن يقول لماذا اتفق للنيزك أن يصدم الأرض في ذلك الوقت بالذات . فالأمل النهائي الذي نتمناه في العلم هو أن نصبح قادرين على أن نعزو تفسيرات كل الظواهر الطبيعية إلى القوانين النهائية **مضافاً** إليها الطوارئ التاريخية .

إن تسلل الطوارئ التاريخية إلى قلب العلوم يعني أيضاً أننا يجب أن ننتبه إلى نوع التفسيرات التي نتوخاها من قوانيننا النهائية . فعندما بدأ نيوتن ، مثلاً ، باقتراح قوانينه الحركية والثقالية ، واجه اعتراضاً يقول بأن هذه القوانين لا تفسر ما نراه من استقرار في سلوك المنظومة الشمسية ، أي سبب دوران الكواكب كلها حول الشمس باتجاه واحد ؛ ولكننا نعلم اليوم أن السبب تاريخي ؛ فطريقة دوران الكواكب حول الشمس ناجمة عن سبب خاص هو أن المنظومة الشمسية تشكلت بتكاثف قرص غازي دوار . وليس من توقعاتنا أن نكون قادرين على استنتاج ذلك من قوانين الحركة والثقالة فحسب . فاستقلال القوانين عن التاريخ قضية مربكة من القضايا التي نواظب على تعلم كيفية التعامل معها .

وليس من الممكن فحسب أن يكون ما نعتبره الآن كظروف بدئية اعتباطية قابلاً لأن يُستنتج في نهاية الأمر من قوانين عالمية الشمول ــ بل وعلى العكس من ذلك قد يتبين في النهاية أن المبادئ التي نعتبرها **اليوم** قوانين عالمية هي طوارئ تاريخية . ففي المدة الأخيرة حاول بعض الفيزيائيين النظريين اختبار فكرة أن لا يكون هذا الذي نسميه عالماً ، أي هذه المجرات المتناثرة التي تؤلف بمجموعها غمامة تتوسع في كل الاتجاهات وفي مدى عشرات مليارات السنين الضوئية على الأقل ، سوى عالم فرعي ، أي جزء صغير من عالم أعظم بكثير جداً ومؤلف من أجزاء عديدة من هذا القبيل . ويمكن للعوامل التي نسميها ثوابت الطبيعة (كشحنة الإلكترون الكهربائية ونسب كتل الجسيمات العنصرية ، وما إلى ذلك) أن تتخذ في كل جزء قيماً مختلفة . وقد نجد أيضاً أن القوانين ، التي نسميها الآن قوانين الطبيعة ، تختلف من عالم فرعي لآخر . وفي هذه الحالة قد يتطلب تفسير القوانين والثوابت التي اكتشفناها عنصراً تاريخياً لا يمكن التغاضي عنه ، ألا وهو مصادفة أن نكون في الفرع الخاص الذي نسكنه . ولكنني ، حتى لو تبين أن في هذه الأفكار شيئاً ذا شأن ، لا أعتقد أن ذلك سيدعونا إلى التخلي عن أحلام اكتشاف قوانين نهائية للطبيعة ؛ والقوانين النهائية لا بد أن تكون قوانين طاغية تعيِّن احتمالات أن نكون في مختلف أنواع العوالم الفرعية . وفي الفترة الأخيرة خطا سيدني كولمان وآخرون خطوة جريئة نحو حساب هذه الاحتمالات بتطبيق ميكانيك الكم على العالم الأعظم برمته . ولكن علي أن أؤكد أن هذه الأفكار تخمينية جداً ، ولم تحظ بصياغة رياضية كاملة ، وما تزال حتى الآن بدون دعم تجريبي .

لقد اعترفتُ حتى الآن بوجود مشكلتين في فكرة سلاسل التفسير التي تقود إلى قوانين نهائية : دخول الطوارئ ، والتعقيد الذي يمنعنا من أن نكون قادرين بالفعل على تفسير كل شيء ، حتى عندما نقصر اهتمامنا على العالميات ، بغض النظر عن العنصر التاريخي . ويوجد مسألة أخرى لابد من مواجهتها ، مسألة ذات صلة بالكلمة الطنانة « انبثاق » . فعندما

نتطلع إلى الطبيعة في مستويات أكثر فأكثر تعقيداً نرى ظواهر تنبثق دون أن يكون لها ما يقابلها في المستويات الأبسط ، وأقلها جميعاً مستوى الجسيمات العنصرية . إذ لا يوجد ، مثلاً ، في مستوى الخلايا الحية الإفرادية أي شيء يشبه الذكاء ، ولا أي شيء يشبه الحياة في مستوى الذرات والجزيئات . وقد أدرك الفيزيائي فيليب أندرسون بشكل جيد فكرة الانبثاق في عنوان مقالة نُشرت عام ١٩٧٢ : « الأكثر مختلف » . إن انبثاق ظواهر جديدة في سويات عالية من التعقيد يحدث بأكبر وضوح في البيولوجيا وعلوم السلوك ، ولكن من المهم الاعتراف بأن مثل هذا الانبثاق لا يمثل شيئاً خاصاً في مجال الحياة وشؤون البشر ؛ فهو يحدث أيضاً ضمن الفيزياء نفسها .

وكمثال على انبثاق كان له تاريخياً أعظم أهمية في الفيزياء نذكر الترموديناميك ، علم التحريك الحراري . فهذا العلم ، كما صاغه أصلاً كارنو وكلوزيوس وسواهما في القرن التاسع عشر ، كان علماً قائماً بذاته ، لا يُستنتج من ميكانيك الجسيمات والقوى ، بل هو مبني على مفاهيم ، كالأنتروبية ودرجة الحرارة ، ليس لها ما يقابلها في الميكانيك ، والجسر الوحيد الذي يصل ما بين الميكانيك والترموديناميك هو القانون الأول في الترموديناميك ، قانون انحفاظ الطاقة . والمبدأ المركزي في الترموديناميك كان القانون الثاني الذي يقول (بإحدى صيغه) بأن المنظومات المادية لا تمتلك طاقة ودرجة حرارة فحسب ، بل وكمية معينة ، تسمى أنتروبية ، تتزايد على الدوام بمرور الزمن في أية منظومة مغلقة وتبلغ نهاية عظمى عندما تبلغ المنظومة حالة توازن ، وهذا هو المبدأ الذي يمنع المحيط الهادي من أن يعطي تلقائياً ، للمحيط الأطلسي ، قسطاً من طاقته الحرارية كبيراً لدرجة أن يتجمد المحيط الهادي ويغلي المحيط الأطلسي ؛ فمثل هذه الكارثة لا تستدعي انتهاك قانون انحفاظ الطاقة ، بل هي ممنوعة لأن من شأنها أن تنقص الأنتروبية .

كان فيزيائيو القرن التاسع عشر عموماً يعتبرون القانون الثاني في الترموديناميك شيئاً مسلَّماً به : مُسلَّمة مستمدة من التجربة وأساسية كسواها من قوانين الطبيعة . ولم يكن هذا ، في ذلك العصر ، شيئاً غير معقول . كان الترموديناميك يُعتبر شغالاً في ظروف متخالفة جداً ، من سلوك البخار (وهي المسألة التي كانت سبب نشوء هذا العلم) إلى الانجماد والغليان والتفاعلات الكيميائية (ونحن نضيف اليوم أمثلة تخرج عن المألوف ؛ فقد اكتشف الفلكيون أن غيوم النجوم ، في حشود التجمعات الموجودة في مجرتنا وسواها من المجرات ، تتصرف كغازات في درجات حرارة معينة ؛ كما تبين ، من أعمال جاكوب بيكنشتاين وهوكنغ النظرية ، أن للثقب الأسود أنتروبية تتناسب مع مساحة سطحه) . فإذا كان الترموديناميك علماً بهذا الشمول ، فكيف يمكن ربطه منطقياً بفيزياء أنواع محددة من الجسيمات والقوى ؟

ثم تبين، في النصف الثاني من القرن التاسع عشر وبفضل عمل جيل جديد من الفيزيائيين النظريين (منهم مكسويل في اسكتلندا، وبولتزمان في ألمانيا، وغيبس في أمريكا)، أن مبادئ الترموديناميك يمكن في الواقع استنتاجها رياضياً بتحليل احتمالات التشكيلات المختلفة لبعض أنواع المنظومات، تلك التي طاقتها موزعة على عدد كبير جداً من المنظومات الفرعية، على شاكلة غاز، مثلاً، طاقته موزعة على جزيئاته. (لقد ذكر أرنست نيغل ذلك كمثال نموذجي على إرجاع نظرية إلى نظرية أخرى). وفي هذا الميكانيك الإحصائي تكون طاقة الغاز الحرارية هي بالضبط الطاقة الحركية لجسيماته؛ أما الأنتروبية فهي قياس فوضى المنظومة؛ ويُعبِّر القانون الثاني في الترموديناميك عن نزوع المنظومات المعزولة إلى حالة ذات فوضى أكبر. فانتقال كل حرارة المحيطات الأطلسي يُعدُّ تزايداً في الترتيب (تناقضاً في الفوضى)، وهذا سبب عدم حدوثه.

لقد نشبت، في ثمانينيات وتسعينيات القرن الماضي، معركة بين أنصار الميكانيك الإحصائي الجديد وبين أمثال بلانك والكيميائي أُستفالد الذين ظلوا متمسكين بأن الترموديناميك مستقل في منطقه. حتى أن إرنست زِرميلو ذهب إلى أبعد من ذلك وحاول أن يثبت، على أساس أن تناقص الأنتروبية شيء نادر الحدوث جداً بموجب الميكانيك الإحصائي ولكنه غير مستحيل، أن الافتراضات المرعية في الجزيئات، والتي يستند إليها الميكانيك الإحصائي، لابد أن تكون خاطئة. كان النصر في هذه المعركة للميكانيك الإحصائي، بعد أن أصبح وجود الذرات والجزيئات مقبولاً لدى الجميع في أوائل هذا القرن. ومع ذلك، ورغم أن الترموديناميك قد تم تفسيره بلغة الجسيمات والقوى، فهو ما زال يعالج مفاهيم منبثقة كدرجة الحرارة والأنتروبية، فقدت كل معنى في مستوى الجسيمات الإفرادية.

إن الترموديناميك أكثر شبهاً بأسلوب في المحاكمة منه ببنيان قوامه قانون فيزيائي عالمي الشمول، وحيثما نطبقه يتيح لنا دوماً أن نبرر استخدام المبادئ نفسها. لكن تفسير سبب انطباق الترموديناميك على أية منظومة خاصة يتخذ شكل استنتاج يستغل طرائق الميكانيك الإحصائي مطبقةً على تفاصيل محتويات المنظومة؛ وهذا ينزل بنا حتماً إلى مستوى الجسيمات العنصرية. وفي صورة أسهم التفسير التي ذكرتها من قبل، نستطيع أن نفكر في الترموديناميك وكأنه نموذج أسهم يظهر مراراً في ظروف فيزيائية متخالفة؛ ولكن حيثما يظهر هذا النموذج التفسيري يمكن متابعة الأسهم، بطرائق الميكانيك الإحصائي، عائدة إلى قوانين أعمق، وفي النهاية إلى مبادئ فيزياء الجسيمات العنصرية. وكما يتبين من هذا المثال، فإن واقع أن تجد النظرية العلمية تطبيقات في تشيكلةِ عريضة من الظواهر المختلفة لا ينطوي على أي شيء بخصوص استقلال هذه النظرية عن قوانين فيزيائية أعمق.

إن هذا القول ينسحب على مجالات الفيزياء الأخرى، كموضوعي الشوش والجيشان المتشابهين. فالفيزيائيون العاملون في هذه المجالات قد عثروا على نماذج من السلوك تحدث مراراً وتكراراً في ظروف متخالفة جداً. وبهذا الصدد يُعتقد بوجود شمولية رديئة في توزع الطاقة في دوامات من حجوم مختلفة تحدث في سوائل جياشة من كل الأنواع، من جيشان تدفق المدّ إلى الجيشان الذي يطرأ على الغاز بين النجوم من جراء مرور نجم فيه. ولكن الموائع الجارية ليست كلها جياشة؛ والجيشان، عندما يحدث، لا يبدي دوماً هذه الخصائص «العالمية الشمول». ومهما كانت المحاكمة الرياضية التي تأخذ في الحسبان خصائص الجيشان الشمولية، ما يزال علينا أن نفسر **لماذا** يجب أن تنطبق هذه المحاكمة على أي سائل جائش خاص؛ وجواب هذا السؤال سيكون حتماً بلغة طوارئ المصادفات (سرعة اندفاق المدّ وشكل القناة) والشموليات (قوانين حركة الموائع وخواص الماء) التي يجب بدورها أن تُفسَّر بلغة قوانين أعمق.

يمكن أن نطبق ملاحظات كهذه على البيولوجيا. هنا يتعلق معظم ما نراه بالطوارئ التاريخية؛ ولكن يوجد في هذا المجال قواعد شبه شاملة، كقاعدة الكثرة البيولوجية التي تقضي بأن عددي الذكور والإناث عند الولادة ينزعان إلى التساوي، (في عام ١٩٣٠ فسر عالِم الوراثة رونالد فيشر ما يلي: عندما ينزع صنف إلى إنتاج ذكور أكثر من الإناث، مثلاً، فإن أياً من الجينات التي تعطي الأفراد نزوعاً إلى إنتاج إناث أكثر من الذكور تتضاعف لدى الكثرة، لأن أفراد الذرية الإناث اللواتي يحملن هذه الجينات تلقى منافسة أقل في العثور على عِرس لها). والقواعد التي كهذه تنطبق على تكشيلة عريضة من الأصناف، ويمكن توقع انطباقها حتى على حياة تُكتشف على كواكب أخرى، إذا كانت هذه الحياة تتكاثر جنسياً. فالمحاكمة التي تقود إلى هذه القواعد تظل قائمة سواء طبقناها على البشر أو على الطيور أو على كائنات خارج الأرض؛ لكن المحاكمة تستند دوماً إلى افتراضات بخصوص الأحياء المدروسة؛ وإذا سألنا **لماذا** يجب أن تكون هذه الافتراضات صحيحة، علينا أن نبحث عن الجواب جزئياً بلغة الطوارئ التاريخية وجزئياً بلغة العالميات الشمول كخصائص الدنا DNA (أو ما يحل محله على الكواكب الأخرى) التي يجب بدورها أن تجد تفسيراً في الفيزياء والكيمياء، ومن ثم في النموذج المعياري للجسيمات العنصرية.

إن في هذه النقطة شيئاً من الغموض، لأن العلميين يستخدمون، في أعمالهم على الترموديناميك أو تحريك الموائع أو الكثرة البيولوجية، لغات خاصة بعلومهم؛ فيتكلمون عن الأنتروبية والدوامات وطرائق التكاثر بغير لغة الجسيمات العنصرية. ولا يعود سبب ذلك فقط إلى أننا عاجزون عن استخدام مبادئنا الأولى فعلياً لحساب الظواهر المعقدة؛ بل إن ذلك

صورة لنوع السؤال الذي نريد طرحه بخصوص هذه الظواهر . وحتى لو كنا نملك حاسوباً ضخماً قادراً على متابعة مسيرة كل جسيم عنصري في اندفاق المدّ أو مسيرة ذبابة الفاكهة ، فإن أكوام مطبوعات الحاسوب لن تكون ذات فائدة كبيرة لمن يرغب في معرفة ما إذا كان الماء جائشاً أو ما إذا كانت الذبابة حية .

لا يوجد سبب يحمل على افتراض أن تلاقي التفسيرات العلمية لا بد أن يقود إلى توحيد الطرائق العلمية . فالترموديناميك والشوش وبيولوجيا الكثرة سوف يستمر كل منها في العمل بطرائقه ولغته الخاصة وتحت سلطة قواعده الخاصة ، بالغاً ما بلغت معلوماتنا عن الجسيمات العنصرية . وهذا ما عبر عنه الكيميائي روالد هوفمان حين قال : « إن معظم المفاهيم المفيدة في الكيمياء ... غير دقيقة . وهي تنزع إلى الزوال عندما تُختزل في الفيزياء » . وللرد على أولئك الذين يسعون إلى اختزال الكيمياء في الفيزياء أورد هنس بريماس بعض المفاهيم المفيدة في الكيمياء والتي تتعرض لخطر إضاعتها في هذا الاختزال : القيمة الاتحادية وبنية الرابطة والمدارات المتوضعة ، والعطرية والحموضة واللون والرائحة والتنفير المائي . وأنا لا أرى سبباً يدعو الكيميائيين إلى إيقاف الكلام عن هذه الأشياء ما داموا يرون فيها فائدة أو أهمية . هذا إضافة إلى أن استمرارهم في ذلك لا يدعو إلى الشك بواقع أن كل هذه المفاهيم في الكيمياء تعمل كما كانت تعمل لأن الإلكترونات والبروتونات والنترونات محكومة أساسياً بميكانيك الكم . وبهذا الصدد يقول لينوس باولنغ : « لا يوجد شيء في الكيمياء لا تتعلق نظريته الأساسية بالمبادئ الكمومية » .

إن من بين كل العلوم الاختبارية ، التي نحاول ربطها بمبادئ الفيزياء بوساطة أسهم التفسير ، نذكر أن الإدراك الواعي هو الذي نعاني فيه كبرى الصعوبات . فنحن نعرف أشياء عن أفكارنا الواعية مباشرة دون تدخل الحواس ؛ فكيف إذن يمكن إدخال الوعي في نطاق الفيزياء أو الكيمياء؟ وقد أوضح ذلك الفيزيائي برايان بيبارد ، الذي آل إليه كرسي مكسويل كأستاذ في جامعة كمبردج ، بقوله : « المستحيل بالتأكيد هو أن يُطلب من فيزيائي نظري ، مسلح بحاسوب ذي قدرة غير محددة ، أن يستنتج من قوانين الفيزياء أن بنية معقدة ما ، هي بنية تعي وجودها » .

أعترف أنني أجد هذا الموضوع بالغ الصعوبة وليس عندي خبرة خاصة بأمثاله . لكنني أعتقد لأنني على خلاف مع بيبارد وسواه ممن يتخذون الموقف نفسه . فمن الواضح أن هناك ما قد يسميه نقاد الأدب إحساساً موضوعياً بالوعي ؛ فأنا أشعر بتغيرات فيزيائية وكيميائية في دماغي وجسدي أُلاحظ أنها ذات صلة (سواء كانت سبباً أم نتيجة) بالتغيرات الحاصلة في أفكاري الواعية . فأبتسم عندما أكون مسروراً ؛ ويحدث في دماغي نشاط

كهربائي مختلف بحسب ما أكون مستيقظاً أو نائماً ؛ كما تثير الهرمونات في دمي انفعالات عاطفية شديدة ، وأحياناً أفكر بصوت مرتفع . إن هذه الأشياء ليست الوعي بحد ذاته ؛ ولا أستطيع أن أُعبر بلغة الابتسامات أو الموجات الدماغية أو الهُرمونات أو الكلمات عما **أستشعره** سعادة أو حزناً ؛ ولكن إن نحينا الوعي جانباً لبعض الوقت ، يكون من المعقول عندئذ أن نفترض أن هذه الإحساسات الموضوعية بالوعي يمكن أن تُدرس بطرائق العلم وقد يتفق لها أن تتفسر في إطار فيزياء وكيمياء الدماغ والجسد . (لا أعني ، بالضرورة ، هنا بكلمة « تتفسر » أننا سنكون قادرين على التنبؤ بكل شيء أو بأشياء كثيرة جداً ، بل أعني أننا سنفهم لماذا تعمل الابتسامات والموجات الدماغية والهرمونات بالطريقة التي تعمل بها ، فهماً لا يختلف عن المقصود من قولنا إننا نفهم لماذا يتصرف الطقس بهذا الشكل أو ذاك ، رغم أننا لا نستطيع أن نتنبأ عن طقس الشهر القادم) .

يوجد في كمبردج مع بيبارد مجموعة بيولوجيين ، برئاسة سيدني برينر ، اكتشفوا مخطط توصيلات المنظومة العصبية لدودة خيطية صغيرة اسمها إيليغنز C.elegans ، مما يعني أنهم أصبح لديهم أساس كي يفهموا ، بمعنى ما ، كل شيء عن سبب تصرف هذه الدودة بالشكل الذي تتصرف به . (نحن ما نزال حتى اليوم بحاجة إلى برنامج يعتمد هذا المخطط التوصيلي الذي يولِّد التصرف الملحوظ للدودة) . ولئن كانت الدودة ليست كائناً بشرياً ، إلا أن بين الدودة والإنسان سلسلة حيوانات ذات منظومات عصبية متزايدة التعقيد وتضم الحشرات والأسماك والفئران والقرود . فأين يمكن وضع الخط الفاصل ؟

هب أننا سنتوصل إلى فهم الإحساسات الموضوعية بالوعي ، وذلك في إطار الفيزياء (ومنها الكيمياء) وأننا سوف نفهم كيف تطورت لتصبح على ما هي عليه . لن يكون عندئذ من غير المعقول أن نأمل ، بعد أن تتفسر لنا الإحساسات الموضوعية بالوعي ، أننا سنكون قادرين على اكتشاف شيء في مكان ما من تفسيراتنا ، شيء كمنظومة فيزيائية لمعالجة المعلومات ، منظومة تقابل خبرتنا بالوعي نفسه ، خبرتنا بما أسماه جلبرت رايل « الشبح في الآلة » . قد لا يكون ذلك الشيء تفسيراً للوعي ، ولكنه سيكون قريباً جداً من التفسير .

لا يوجد ما يضمن لنا أن يحظى التقدم في المجالات العلمية الأخرى بمساعدة مباشرة من شيء جديد يُكتشف في حقل الجسيمات العنصرية . ولكنني (أكرر ذلك ، وليس للمرة الأخيرة) لا أهتم هنا كثيراً جداً بما **يفعل** رجال العلم ، لأن ذلك منوط حتماً بحدود قدرة البشر ومصالحهم معاً ، بل ينصب اهتمامي على النظام المنطقي في بنيان الطبيعة بالذات . فبهذا المعنى فقط يمكن أن يقال إن فروع الفيزياء التي تشبه الترموديناميك والعلوم الأخرى ،

كالكيمياء والبيولوجيا، تستند إلى قوانين أعمق، وخصوصاً إلى قوانين فيزياء الجسيمات العنصرية.

إنني، في حديثي هنا عن نظام منطقي للطبيعة، اتخذت ضمنياً ما يمكن أن يسميه مؤرخو الفلسفة موقفاً «واقعياً» — واقعياً، لا بالمعنى الشائع اليوم بأنني عملي لا أنخدع بالأوهام، بل بمعنى أقدم بكثير، معنى الاعتقاد بواقعية الأفكار التجريدية. كان واقعيُّ القرون الوسطى يعتقد بواقعية العالميات، كأشكال أفلاطون، في مواجهة الاسمانيين nominalists، مثل ويليام أُكهام الذي صرَّح بأنها مجرد أسماء، (إن استخدامي لكلمة «واقعي» من شأنها أن تسرَّ أحد كُتّابي المفضلين، جورج غيسنغ الذي تمنى أن «لا يتاح استخدام كلمتي **واقعية وواقعي** مرة ثانية أبداً، إلا بمعنييهما الخاصين بهما لدى من يكتبون عن الفلسفة المدرسانية Scholastic». وأنا لا أريد أن أشارك في هذه المجادلة إلى جانب أفلاطون، بل إن حديثي هنا يتناول واقعية قوانين الطبيعة، في مواجهة الحواسيين (الوضعيين) positivists المحدثين الذين لا يقبلون إلا بواقعية ما يمكن رصده بالحواس مباشرة.

عندما نقول عن شيء إنه واقعي فإننا نعبر عن نوع من الاحترام؛ فنعني أن هذا الشيء يجب أن يُحمل على محمل الجد لأنه قد يؤثر فينا تأثيراً لا نستطيع أن نسيطر عليه تماماً، ولأننا لا نستطيع أن نعرف عنه شيئاً بدون بذل جهد يفوق حدود تصوراتنا. هذه المقولة صحيحة مثلاً من أجل الكرسي الذي أجلس عليه (مثال يحبه الفلاسفة) ولكنها لا تؤلف لدرجة كبيرة برهاناً على أن الكرسي واقعي، بل هي بالأحرى ما **نعنيه** فقط عندما نقول إن الكرسي واقعي. وأنا كفيزيائي أفهم التفسيرات والقوانين العلمية كأشياء هي كما هي ولا يمكن اختراعها في طريقي، وهكذا تكون علاقتي بهذه القوانين غير مختلفة كثيراً عن علاقتي بكرسيي؛ فأنا أمنح إذن قوانين الطبيعة (الطبيعة التي قوانيننا الحالية تعبير تقريبي عنها) شرف كونها واقعية. ويتعزز هذا الانطباع عندما يتبين أن أحد قوانين الطبيعة ليس كما كنا نظنه؛ وهذه خبرة تشبه اكتشاف أن أحد الكراسي ليس في مكانه عندما يريد أحد الجلوس. لكن علي أن أعترف بأن إرادتي أن أمنح لقب «واقعي» تشبه قليلاً إرادة لويد جورج(*) في منح ألقاب النبالة؛ وهذا مقياس لقلة الاعتبار الذي أوليه للفروق بين الألقاب.

إن مناقشة واقعية قوانين الطبيعة يمكن أن تصبح أقل شكلية إذا اتصلنا بكائنات ذكية أخرى على كوكب ناءٍ كانوا قد اكتشفوا أيضاً تفسيرات علمية لظواهر طبيعية. هل نجد عندئذ أنهم اكتشفوا القوانين الطبيعية نفسها؟ إن القوانين التي اكتشفها أولئك الناس، مهما

* رئيس وزارة إنكليزي سابق. المترجم

كانت، لا بد أن تكون مصوغة بلغة ومصطلحات مختلفة؛ ومع ذلك نستطيع أن نتساءل عما إذا كان يوجد نوع من التقابل بين قوانينهم وقوانيننا. فإذا كان الجواب نعم، يصبح من الصعب إنكار الواقعية الموضوعية على قوانيننا.

إننا بالطبع لا نعرف ما سيكون جواب هذا السؤال؛ بيد أننا هنا على الأرض قد رأينا مؤخراً اختباراً لسؤال من هذا القبيل ولكن في نطاق ضيق. لقد اتفق لما نسميه علماً فيزيائياً حديثاً أن يبدأ في أوربا في نهاية القرن السادس عشر، وربما كان بإمكان الذين يشكّون في واقعية قوانين الطبيعة أن يتصوروا، على شاكلة احتفاظ مَناطق العالم الأخرى بلغاتهم ودياناتهم الخاصة، أن هذه المناطق قد احتفظت أيضاً بتقاليدها العلمية الخاصة وأنها ربما تكون قد صاغت قوانين علم فيزيائي مختلفة تماماً عن القوانين التي صيغت في أوربا. صحيح أن هذا لم يحدث؛ ففيزياء اليابان والهند الآن لا تختلف عن فيزياء أوربا وأمريكا. إنني أعترف بأن هذه الحجة غير مقنعة تماماً، لأن العالم كلهِ قد تأثر عميقاً بالجوانب الأخرى من الحضارة الغربية، من التنظيم العسكري إلى «البلوجنز». ومع ذلك فإن تجربة الاستماع إلى مناقشات في حقل نظرية الكم أو التفاعل النووي الضعيف، في ندوة علمية في تسوكوبا أو بومباي، قد أعطتني انطباعاً قوياً بأن قوانين الفيزياء لها وجود خاص بحد ذاتها.

إن اكتشافنا لتلاقي أسهم التفسير، في العلوم ذات الصلات فيما بينها، ذو مضامين عميقة، لا بالنسبة للعلميين فحسب. فعلى طول التيار الرئيسي للمعرفة العلمية يوجد بحيرات صغيرة معزولة مما يمكن أن أسميه (توخياً لعبارة حيادية) علوماً مزعومة، كالتنجيم والتبصير المسبق والتحريك عن بعد واستشفاف الغيب وما لف لفها. فإذا أمكن البرهان على وجود شيء من الصحة في أي من هذه المجالات، فسيكون ذلك اكتشاف العصر وشيئاً أكثر أهمية وإثارة للحماس من أي شيء يمارَس اليوم في الفيزياء العادية. فماذا يمكن للمواطن المثقف أن يستنتج عندما يعلم، من أحد الأساتذة الجامعيين أو من نجم سينمائي أو من أحد كتب مجلة تايم ــ لايف، بوجود برهان على صحة أحد هذه العلوم المزعومة؟

إن الجواب التقليدي الآن يقضي بتحري هذا البرهان بذهن مفتوح وبدون عقيدة نظرية مسبقة. أنا لا أعتقد أن هذا جواب مفيد، ولكن يبدو أن وجهة النظر هذه شائعة على نطاق واسع. وقد قلتُ في إحدى المقابلات التلفزيونية إن من يعتقد بالتنجيم عليه أن يُدير ظهره للعلم الحديث كله. فكان أن وصلتني بعدئذ رسالة مهذبة من كيميائي ومهندس تعدين سابق، في نيوجرسي، يلومني أشد اللوم على أنني لم أتحرَّ شخصياً صحة التنجيم. وعلى غرار ذلك، وعندما كتب فيليب أندرسون مؤخراً باستخفاف عن الاعتقاد باستشفاف

الغيب وبالتحريك عن بعد، تعرض لنقد لاذع من أحد زملائه في برنستون، روبرت جان، الذي كان يقوم بتجارب على ما يسميه جان «ظواهر الوعي الشاذة». كان جان يتذمر قائلاً: «رغم أن مكتب أندرسون لا يبعد سوى بضع مئات من الأمتار عن مكتبي، فهو لم يزُر مختبرنا ولم يناقش معي مباشرة أياً من معتقداته، حتى ليبدو أنه لم يقرأ بعناية أياً من مقالاتنا التقنية».

إن ما غاب عن ذهن جان وكيميائي نيوجرسي ومن يتفق معهما هو معنى ترابط المعرفة العلمية. إننا لا نفهم كل شيء، ولكننا نفهم ما يكفي لمعرفة أن عالمنا ليس فيه مكان للإيحاء عن بعد أو للتنجيم؛ إذ ما هي الإشارة الفيزيائية التي يمكن أن تصدر عن أدمغتنا فتحرك أشياء بعيدة ودون أن يكون لها، مع ذلك، تأثير على أي من أجهزتنا؟ إن أنصار التنجيم يلمحون أحياناً إلى المفعولات المؤكدة للقمر والشمس في حدوث المد والجزر؛ لكن مفعولات الحقول الثقالية للكواكب الأخرى أضعف من أن تولِّد آثاراً محسوسة على محيطات أخرى، فما بالك بضعف أثرها على كائن صغير كالإنسان. (أنا لا أريد الخوض في هذه النقطة؛ لكن هناك ملاحظات مماثلة تنطبق على كل مجهود لتفسير استشفاف الغيب، أو غيره من العلوم المزعومة، بلغة العلم المعتمد). وعلى كل حال، فإن العلاقات التي يتنبأ بها المنجمون ليست من النوع الذي يمكن أن ينتج عن مفعول ثقالي ضعيف جداً؛ زد على ذلك أن المنجمين لا يدَّعون فقط أن مواقع الكواكب بعضاً بالنسبة لبعض تؤثر في الحياة على الأرض، بل ويقولون أيضاً بأن هذا التأثير يختلف من شخص لآخر بحسب تاريخ وساعة مولده! والواقع أنني لا أعتقد أن معظم الناس الذين يؤمنون بالتنجيم يتصورون أنه يفعل فعله بتأثير الثقالة، أو أي واسطة أخرى من وسائط الفيزياء؛ بل أعتقد أنهم يظنون التنجيم علماً قائماً بذاته له قوانينه الأساسية، فليس من شأنه أن يتفسر في إطار الفيزياء أو أي علم آخر. إن الخدمات الكبرى التي أسداها لنا مذهب التفسير العلمي هي أنها تؤكد لنا عدم وجود علوم مستقلة بذاتها.

ولكن أليس من واجبنا أن نختبر التنجيم وسواه من العلوم المزعومة كي نتأكد من أنها لا طائل فيها؟ أنا لست ضد أي امرئ يريد اختبار أي شيء يريد، ولكنني أود أن أشرح لماذا لا أُكلف نفسي هذا العناء ولا أنصح سواي به. فنحن معرضون في كل وقت لإنسان يتقدم بتشكيلة من الأفكار المبتدَعة التي يمكن استقصاؤها: فالأمر لا يقتصر على التنجيم وما يلف لفه، بل قد يتناول عدة أفكار أقرب إلى طريق العلم الرئيسية، وأفكاراً أخرى تقع في صلب البحث العلمي الحديث. ولكن ليس من الصواب أن نقول إن **كل** هذه الأفكار يجب أن تُختبر إلى نهايتها؛ إذ لا يوجد وقت لذلك كله. فأنا أستلم أسبوعياً بالبريد قرابة خمسين

مقالة معدة للنشر حول فيزياء الجسيمات العنصرية وفيزياء النجوم، إضافة إلى بضع مقالات ورسالات في كل أنواع العلم المزعوم. وأنا لا أستطيع، حتى لو تخليت عن كل شيء في حياتي، أن أولي كل هذه الأفكار أذناً صاغية. فماذا أفعل إذن؟ وليس العلميون وحدهم هم الذين يعانون من مشاكل كهذه، بل وكل امرئ آخر. ونحن كلنا لا بديل لنا من أن نبذل ما نستطيع من جهد للحكم على أن بعض هذه الأفكار (وربما معظمها) لا تستحق المتابعة. وأكبر عون لنا في إصدار هذا الحكم هو فهمنا لأسلوب التفسير العلمي.

عندما شرع المستوطنون الإسبان في المكسيك بالاندفاع شمالاً، في القرن السادس عشر، نحو المنطقة المعروفة باسم تكساس، وكانت دوافعهم مستمدة من الإشاعة بوجود مدائن من الذهب، مدائن سيبولا السبع، لم يكن هذا غير معقول في ذلك العصر. إذ لم يكن قد ذهب سوى بضعة أوربيين إلى تكساس، وكان كل إنسان يظن أن في هذه المنطقة كل أنواع العجائب. ولكن هب أن أحد الناس قد أذاع أن هناك دليلاً ينبىء عن وجود سبع مدائن ذهبية في مكان ما من تكساس الآن. فهل يخطر لك أن توصي بإرسال بعثة للبحث عن هذه المدائن في كل زوايا الولاية من دريديفر إلى ريوغراندي؟ أعتقد أنك سوف تصدر حكماً مبنياً على أساس أننا نعرف عن تكساس معلومات، من المستكشفين والمستوطنين، تغنينا بكثرتها عن البحث عن مدائن ذهبية خفية. وعلى غرار ذلك أسدى لنا اكتشاف الترابط والتلاقي في أساليب التفسير العلمي أكبر خدمة حين عَلَّمنا أن الطبيعة ليس فيها مكان للتنجيم وللتحريك عن بعد، وسواهما من العلوم المزعومة.

الفصل الثالث

سببان للترحيب بالاختزالية

يا حبيبتي، أنت وأنا نعلم لماذا سماء الصيف زرقاء، ونعلم أيضاً لماذا تغني العصافير أناشيدها على الأشجار

Meredith Wilson, you and I

(أنت وأنا)

إذا شرعت تسأل لماذا كانت الأشياء كما هي؛ وإذا سألت، بعد أن تُعطى تفسيراً في إطار مبدأ علمي، لماذا كان هذا المبدأ صحيحاً، وإذا استمررت في طرح الأسئلة، لماذا؟ ثم لماذا؟ ثم لماذا؟ كما يفعل ولد ذو ولع مرضي بطرح الأسئلة، فستجد عاجلاً أو آجلاً من يقول لك إنك اختزالي. ولئن كان معنى هذه الكلمة يختلف من شخص لآخر، إلا أنني أرى أننا نشترك جميعاً في إعطاء فكرة الاختزالية reductionism سمة تنطوي على معنى التسلسل الهرمي أي أن بعض الحقائق أقل أساسيةً من حقائق أخرى يمكن إرجاع الأولى إليها، على غرار قولنا بأن الكيمياء يمكن إرجاعها إلى الفيزياء. وقد أصبحت الاختزالية معياراً لما يحدث من أمور سيئة في السياسة العلمية؛ فقد هاجم مجلس العلوم الكندي مؤخراً اللجنة الكندية للتنسيق بين الخدمات الزراعية زاعماً أنها يسيطر عليها الاختزاليون. (الظاهر أن مجلس العلوم يقصد أن لجنة التنسيق تولي اهتماماً مبالغاً فيه للبيولوجيا وكيمياء النبات) لكن فيزيائيي الجسيمات العنصرية هم الأكثر عرضة أن يُدعوا اختزاليين، وغالباً ما كان كره الاختزالية سبباً في سوء العلاقات بينهم وبين العلميين الآخرين.

إن خصوم الاختزالية يؤلفون تشكيلة واسعة من العقائد الفكرية. ففي الطرف الأكثر معقولية من هذه التشكيلة يوجد أولئك الذين يعترضون على أكثر أشكال الاختزالية سذاجةً. وأنا أوافقهم على اعتراضاتهم. ولئن كنتُ أعتبر نفسي اختزالياً إلا أنني لا أعتقد أن مسائل فيزياء الجسيمات العنصرية هي المسائل الوحيدة المهمة والعميقة في العلم، أو حتى في الفيزياء. فأنا لا أرى أن على الكيميائيين أن يتخلوا عن كل شيء آخر يفعلونه وأن يكرسوا أنفسهم لحل معادلات ميكانيك الكم من أجل مختلف الجزيئات. كما أنني لا أعتقد أن على

البيولوجيين أن يتوقفوا عن التفكير في مجمل النباتات والحيوانات وينصرفوا إلى دراسة الخلايا والدنا فقط. فأنا لا أرى الاختزالية دليلاً مرشداً في برامج البحث العلمي، بل أراها موقفاً فكرياً إزاء الطبيعة نفسها. وهي ليست أكثر ولا أقل من إدراك أن المبادئ العلمية هي كما هي لأن هناك مبادئ علمية أعمق (وطوارئ تاريخية في بعض الأحوال) ولأن كل هذه المبادئ يمكن أن تُعزى إلى مجموعة بسيطة من القوانين المترابطة. وفي هذا الوقت من تاريخ العلم يبدو أن أفضل طريقة للاقتراب من هذه القوانين تسلك طريق فيزياء الجسيمات العنصرية، لكن هذا الجانب من الاختزالية قد يكون عَرَضياً وقد يتغير.

وفي الطرف الآخر من تشكيلة خصوم الاختزالية يوجد أولئك الذين يرتاعون من شعورهم بالعزلة عن العلم الحديث. وأياً كان مدى اختزال عالمهم إلى قضية جسيمات أو حقول وتفاعلاتها، فإنهم يشعرون بنقص في معارفهم. فقد تصور رجل دستويفسكي تحت الأرضي أحدَ رجال العلم يخبره «أن الطبيعة لا تستشيرك؛ إنها لا تأبه برغباتك، سواء أعجبتك قوانينها أم لم تعجبك. إن عليك أن تقبلها كما هي...» فأجابه: «يا سبحان الله، وماذا يهمني من قوانين الطبيعة أو الحساب إذا كنتُ، لسبب أو لآخر، لا أحبُ هذه القوانين...». وأكثر خصوم الاختزالية خطلاً أولئك الملأى رؤوسهم بالمقدسات، الدين تتخذ ردة فعلهم شكل عقيدة في الطاقات الروحية والقوى الحيوية التي لا يمكن شرحها في إطار القوانين العادية التي تحكم الطبيعة المجردة من الحياة. فهؤلاء لا أحاول الرد على انتقاداتهم بكلام بليغ عن مواطن الجمال في العلم الحديث. فالاختزالية رؤية شاملة مجردة من العواطف والميول الشخصية ويجب قبولها كما هي، لا لأننا نحبها، بل لأنها الطريقة التي يتبعها هذا العالَم.

وفي وسط تشكيلة خصوم الاختزالية مجموعة أقل زهداً بالموضوع وأكثر عدداً بكثير. إنهم العلميون الذين يغتاظون من سماع أن فروعهم العلمية تستند إلى قوانين فيزيائية أكثر عمقاً، هي قوانين فيزياء الجسيمات العنصرية.

كنت خلال بضع سنوات أتجادل حول الاختزالية مع صديق حميم لي هو البيولوجي إرنست ماير الذي أعطانا، من جملة عطاياه، أفضل تعريف عملي للأصناف البيولوجية. بدأ هذا الجدال في مقالة له عام ١٩٨٥ بعد أن وقع في سطر من مقالة كنت قد كتبتها (عن موضوعات أخرى) للمجلة Sientific American عام ١٩٧٤. كنت قد قلت في هذه المقالة إننا نأمل أن نعثر في الفيزياء على بضعة قوانين بسيطة عامة من شأنها أن تفسر لماذا كانت الطبيعة كما هي، وأن أقرب نقطة نستطيع الآن أن نبلغها باتجاه رؤية موحدة للطبيعة هي توصيف الجسيمات العنصرية وتفاعلاتها المتبادلة. فكان من ماير أن نعت في مقالته

هذه الفكرة بأنها «نموذج فظيع لطريقة تفكير الفيزيائيين» ووصفني بالاختزالي المتعصب فأجبت في مقالة نشرتها المجلة Nature أنني لست اختزالياً متعصباً، بل اختزالي متساهل.

ثم تلا ذلك مراسلة عديمة الجدوى عرض فيها ماير تصنيف أنواع مختلفة من الاختزالية، وقال بأن اختزاليتي نوع من الهرطقة. ولم أفهم هذا التصنيف؛ فقد بدت لي كل أصنافه متماثلة ولم أجد اختزاليتي في أي صنف منها. وهو بدوره (هكذا بدا لي) لم يفهم التمييز الذي حددتُه بين الاختزالية كوصفة عامة للتقدم في العلم، والتي ليست من وجهة نظري، وبين الاختزالية كمقولة في نظام الطبيعة، والتي أعتقد أنها صحيحة حقاً(*). إن العلاقة ما تزال جيدة بيني وبين ماير، ولكن كلاً منا أقلع عن محاولة إقناع الآخر.

لكن الأخطر من ذلك كله، بالنسبة لتخطيط البحث العلمي الوطني، كان المعارضة التي لقيتها الاختزالية في مضمار الفيزياء نفسها. فقد أثارت مطالب الاختزاليين في حقل فيزياء الجسيمات العنصرية انزعاجاً عميقاً لدى بعض الفيزيائيين العاملين في حقول أخرى، كفيزياء المادة الكثيفة، الذين شعروا بالتنافس مع فيزيائيي الجسيمات العنصرية في سبيل الحصول على مخصصات مالية. وقد بلغت هذه الخلافات مستويات جديدة من الشعور بالغبن بسبب طلب مليارات الدولارات للإنفاق على بناء مسرع للجسيمات، هو المصادم الأكبر الفائق الناقلية. ففي عام ١٩٨٧ قال المدير التنفيذي لمكتب القضايا الحكومية في الجمعية الفيزيائية الأمريكية إن المصادم الأكبر «ربما كان القضية التي أثارت أكبر خلاف واجهه مجتمع الفيزيائيين في تاريخه». وعندما كنت أعمل في مجلس المشرفين على مشروع المصادم الأكبر اضطررت، مع أعضاء المجلس الآخرين، إلى القيام بحملة دعائية لشرح أهداف المشروع، وقد اقترح أحد الأعضاء أن لا نعطي انطباعاً بأننا نعتقد أن فيزياء الجسيمات العنصرية أساسية أكثر من العلوم الأخرى، بحجة أن ذلك سيثير حتماً حنق أصدقائنا في مجالات الفيزياء الأخرى.

★ إن ماير، حسب ما فهمت منه، يميز ثلاثة أنواع من الاختزالية: **الاختزالية التكوينية** Comsti tutioe (أو الاختزالية الوجودية ontologica، أو التحليل) وهي طريقة لدراسة الأشياء باستقصاء مكوِّناتها الأساسية؛ **والاختزالية النظرية**، وهي تفسير نظرية بمجملها في إطار نظرية أوسع؛ **والاختزالية التفسيرية** وهي مقولة «إن مجرد معرفة المركبات النهائية لمنظومة معقدة تكفي لتفسيرها». والسبب الرئيسي لرفضي هذا التصنيف هو أن أياً من هذه الأصناف لا علاقة له بما أتحدث عنه (رغم ظني أن الاختزالية النظرية أقربها). وكل صنف من هذه الأصناف يتحدد بما يفعله العلميون أو بما فعلوه أو بما هم قادرون على فعله؛ أما أنا فأتكلم عن الطبيعة نفسها. وعلى سبيل المثال أقول: حتى لو عجز الفيزيائيون عن تفسير خصائص جزيئات معقدة جداً، كالدنا، في إطار ميكانيك كمّ الإلكترون والنوى والقوى الكهربائية، وحتى لو ثابرت الكيمياء على تناول مسائل كهذه، بلغتها الخاصة ومفاهيمها، فإن هذا كله لا يعني بتاتاً وجود مبادئ خاصة بالكيمياء وحدها تكون مجرد حقائق معزولة لا تستند إلى مبادئ فيزيائية أعمق.

إذا كنا قد أعطينا هؤلاء انطباعاً بأننا نعتقد أن فيزياء الجسيمات العنصرية أساسية أكثر من سواها من فروع الفيزياء، فما ذلك إلا لأن الأمر هكذا فعلاً. فأنا لا أعرف كيف أدافع عن المبالغ التي تُصرف على فيزياء الجسيمات إذا لم أكن صريحاً في هذا الشأن. ولكنني لا أعني بهذا القول أن فيزياء الجسيمات العنصرية أعمق على صعيد الرياضيات، أو أنها أكثر ضرورة للتقدم في الحقول الأخرى، أو شيئاً آخر، بل أعني أنها أقرب إلى نقطة تلاقي كل سهام تفسيراتنا.

ومن أبرز الفيزيائيين الذين استاؤوا من طموحات فيزياء الجسيمات أذكر فيليب أندرسون، من مختبرات شركة بل وجامعة برنستون، وهو فيزيائي نظري كان قد قدم العديد من أكثر الأفكار عمقاً في مجال فيزياء المادة الكثيفة (فيزياء أنصاف النواقل والنواقل الفائقة وما إلى ذلك). وقد أدلى أندرسون بشهادة ضد مشروع المصادم الأكبر، وذلك أمام لجنة الكنغرس التي مثُلتُ أمامها عام ١٩٨٧. فقد كان يشعر (وأنا أيضاً) أن البحوث في فيزياء المادة الكثيفة لم تحصل من المؤسسة العلمية الوطنية على التمويل الذي تستحقه، وكان يشعر (وأنا أيضاً) أن عدة مجازين جامعيين يستهويهم سحر فيزياء الجسيمات العنصرية، في حين أن بإمكانهم الحصول على مهن تكون على صعيد العلم أكثر نفعاً في فيزياء المادة الكثيفة وما يدور في فلكها، لكن أندرسون ذهب إلى الادعاء بأن «... [نتائج فيزياء الجسيمات] ليست بأي معنى أكثر أساسية مما حققه آلان تورينغ عندما أسس علم الحاسوب، أو مما حققه فرانسيس كريك وجيمس واطسون عندما اكتشفا سر الحياة».

ليست بأي معنى أكثر أساسية؟ تلك هي النقطة الأساسية التي أختلف فيها مع أندرسون. سوف أتغاضى عن أعمال تورينغ وبدايات علم الحاسوب، التي تبدو لي أنها تنتمي إلى الرياضيات والتقانة أكثر من انتمائها إلى مجال العلوم الطبيعية المعتاد. والرياضيات نفسها لم تكن قط تفسيراً لأي شيء — إنها ليست سوى وسيلة نستخدم فيها مجموعة وقائع لتفسير واقع آخر، ولغةٍ نعبر بها عن تفسيراتنا. أما ما ذكره أندرسون، من أن اكتشاف كريك وواطسون لبنية فتيلة جزيء الدنا (الاكتشاف الذي أظهر آلية الاحتفاظ بالمعلومات الوراثية وانتقالها للجيل اللاحق) يُعدّ اكتشاف سر الحياة، فهو قول يدعم وجهة نظري أنا. فالوصف الذي أعطاه أندرسون لاكتشاف الدنا من شأنه أن يصدم بعض البيولوجيين بالضبط والتمام كما يُصدم أندرسون، على ما يبدو، من ادعاءات فيزيائيي الجسيمات العنصرية المتشبثين بالاختزالية. وبهذا الصدد نسوق ما كتبه هاري روبين منذ بضع سنوات: «إن ثورة الدنا قد قادت جيلاً من البيولوجيين إلى الاعتقاد بأن سر الحياة ينطوي كله في بنية الدنا ووظيفته. إن هذا الاعتقاد في غير محله، والبرنامج الاختزالي يجب أن يُردف بهيكل

مفهومي جديد » . كما أن صديقي ماير كان يكافح سنوات عديدة ضد النزعة الاختزالية في البيولوجيا ، فكانت مخاوفه تنصب على اختزال كل ما نعرفه عن الحياة في دراسة الدنا ؛ وقد قال : « من المؤكد أن الطبيعة الكيميائية لعدد من الصناديق السوداء في النظرية الوراثية التقليدية قد تم ملؤها باكتشاف الدنا والرنا RNA وسواهما ، ولكن هذا لا يؤثر بحال من الأحوال في طبيعة الانتقال الوراثي » .

إنني لن أدخل في هذا الجدل بين البيولوجيين ، وخصوصاً لا إلى جانب خصوم الاختزالية . فمما لا شك فيه أن الدنا ذو أهمية بالغة في عدة مجالات من البيولوجيا . لكن **بعض** البيولوجيين لم تتأثر أعمالهم بالاكتشافات التي حصلت في البيولوجيا الجزيئية ، لأن أعمالهم غير ذات صلة مباشرة بها . فمعرفة بنية الدنا ذات فائدة قليلة للبيئيين الذين يحاولون تفسير تنوع الأصناف النباتية في الغابات الاستوائية الممطورة ، وربما للبيوميكانيكيين الذين يحاولون فهم طيران الفراشات . أريد أن أقول هنا : حتى ولو لم يستفد أي من البيولوجيين في عمله من اكتشافات البيولوجيا الجزيئية ، يبقى أن في هذه الاكتشافات معنى مهماً قد يعطي أندرسون الحق في أن يتكلم عن سر الحياة . ولا أقصد بذلك أن **اكتشاف** الدنا كان أساسياً في **علم** الحياة كله ، بل إن الدنا بحد ذاته أساسي للحياة كلها بحد ذاتها . فالكائنات الحية هي كما هي لأنها تطورت ، بفضل الانتخاب الطبيعي ، لتصبح هكذا ؛ والتطور ممكن لأن خصائص الدنا والجزيئات المتصلة به تتيح للمتعضيات أن تنقل بصمتها الوراثية إلى ذريتها . وبالمعنى نفسه تماماً ، وسواء كانت اكتشافات فيزياء الجسيمات العنصرية ، أم لم تكن ، مفيدة للعلميين الآخرين كلهم ، نقول إن **مبادئ** فيزياء الجسيمات العنصرية الأساسية للطبيعة كلها .

إن خصوم الاختزالية يعتمدون غالباً على حجة أن الاكتشافات في ميدان فيزياء الجسيمات العنصرية لا تبدو مفيدة للعلميين في ميادين أخرى . لكن هذه الحجة ليس لها ما يدعمها في تاريخ العلم . فهذه الفيزياء كانت بمعظمها ، في النصف الأول من هذا القرن ، فيزياء الإلكترونات والفوتونات ، التي كان لها بلا شك شأن كبير في فهم المادة بكل أشكالها . والاكتشافات الحالية في فيزياء الجسيمات العنصرية قد بدأت مؤخراً تؤثر تأثيراً مهماً في علم الكون وعلم الفلك ـــ نحن نستخدم ، مثلاً ، معلوماتنا الضئيلة عن الجسيمات العنصرية في حساب إنتاج العناصر الكيميائية أثناء الدقائق القليلة الأولى من عمر الكون ولا يستطيع أحد أن يتنبأ بالنتائج الأخرى لهذه المكتشفات .

ولكن لنفترض جدلاً أن مكتشفات فيزياء الجسيمات العنصرية **لن** تؤثر بعد الآن في أي مجال آخر من أعمال العلميين . ومع ذلك يبقى أن لهذه الفيزياء أهمية خاصة . فنحن

نعلم أن تطور الأشياء الحية قد تم بوساطة خصائص الدنا وجزئيات أخرى وأن خصائص أي جزيء هي كما هي بسبب خصائص الإلكترونات ونوى الذرات والقوى الكهربائية . ولماذا كانت هذه الأشياء كما هي؟ لقد أمكن تفسير ذلك جزئياً في إطار النموذج المعياري للجسيمات العنصرية ، ونريد الآن أن نسير خطوة أخرى فنفسر النموذج المعياري ومبادئ النسبية والتناظرات الأخرى التي يستند إليها هذا النموذج . وأنا لا أفهم كيف يمكن أن لا يبدو ذلك من الواجبات المهمة لكل امرئ يريد أن يعرف لماذا كان هذا العالم كما هو عليه ، بصرف النظر عما يمكن أن تسديه فيزياء الجسيمات العنصرية من خدمات لأي علمي آخر .

صحيح أن الجسيمات العنصرية بحد ذاتها ليست مثيرة جداً ، وعلى كل حال ، لا بالطريقة التي تثير اهتمام الفرد بالناس الآخرين . فكل إلكترون في الطبيعة يماثل بالضبط كل إلكترون آخر ، بصرف النظر عن الاندفاع والسبين ــ إذا رأيت إلكتروناً واحداً فكأنك قد رأيتها كلها . لكن هذه البساطة بالذات توحي بأن الإلكترونات ، بخلاف البشر ، ليست مصنوعة من عدد من المكوِّنات أكثر أساسية منها ، بل إنها بحد ذاتها شيء تكاد تتألف من أفراده كل الأشياء الأخرى . فأهمية الجسيمات العنصرية نابعة من كونها عميقة الغور جداً ؛ وتوحي بساطة تكوينها بأن دراستها ستزيدنا اقتراباً من فهم الطبيعة فهماً شاملاً .

وقد يساعد مثال الناقلية الفائقة في درجات الحرارة العالية على شرح المعنى الخاص والمحدود لقولنا بأن فيزياء الجسيمات العنصرية أساسية أكثر من فروع الفيزياء الأخرى . فالآن يحاول أندرسون وسواه من فيزيائيي المادة الكثيفة أن يفهموا السبب المحيِّر لدوام الناقلية الفائقة في بعض مركَّبات النحاس والأكسيجين وعناصر أخرى حتى درجات حرارة أعلى بكثير مما كان يُظن . وفي الوقت نفسه يحاول فيزيائيو الجسيمات العنصرية أن يفهموا في إطار النموذج المعياري أصل كتل الكواركات والإلكترونات وجسيمات أخرى . (لقد تبين أن بين المسألتين رابطة رياضية ؛ سنرى أن كلتيهما تعودان إلى مسألة كيفية زوال بعض التناظرات من حلول المعادلات الأساسية التي تحكمهما ، ولا شك أن فيزيائيي المادة الكثيفة سوف يتمكنون من حل مسألة الناقلية الفائقة في درجات الحرارة العالية بدون أية مساعدة من فيزيائيي الجسيمات العنصرية ؛ كما أن فيزيائيي الجسيمات العنصرية لن يستفيدوا ، على الأرجح ، بشكل مباشر من معطيات فيزياء المادة الكثيفة حين يفهمون أصل الكتل . والفرق بين هاتين المسألتين هو أن تفسير الناقلية الفائقة سوف يتخذ في نهاية الأمر ، حين ينتهي فيزيائيو المادة الكثيفة من تفسير هذه الظاهرة في السخونات العالية ــ مهما كانت جودة الأفكار الجديدة التي يجب اختراعها على الطريق ــ ، شكل برهان رياضي يستنتج وجود هذه الظاهرة من خصائص **معروفة** للإلكترونات والفوتونات والنوى الذرية ؛ في حين أن تفسير

أصل كتل الجسيمات العنصرية سوف يعتمد، عندما يفهمه فيزيائيو الجسيمات في إطار النموذج المعياري، على جوانب من هذا النموذج نحن الآن غير متأكدين منها بتاتاً ولانستطيع معرفتها (رغم أننا قد نحزرها) دون معطيات جديدة تأتي من أجهزة كالمصادم الأكبر. وهكذا نرى أن فيزياء الجسيمات العنصرية تبلغ حدود معرفتنا، وكذلك بعمق لا تبلغه فيزياء المادة الكثيفة.

إن هذا لا يحلّ بتلقاء ذاته مسألة كيفية توزيع المال على البحوث: فهناك للبحوث العلمية عدة مبررات ـــ التطبيقات الطبية والتقانية، السمعة الوطنية، المهارة الرياضية، السعادة الغامرة في فهم الظواهر الطبيعية المثيرة ـــ تستجيب لها العلوم الأخرى على حد سواء (وأحياناً بشكل أفضل) مع فيزياء الجسيمات العنصرية. وفيزيائيو الجسيمات لا يعتقدون أن صفة الأساسية وحدها في أعمالهم تعطيهم الحق في الاغتراف من بيت المال، ولكنهم يعتقدون حقاً أن هذا العامل لا يمكن تجاهله عند اتخاذ القرارات بخصوص دعم البحث العلمي.

ربما كان أفضل محاولة لوضع معايير لصنع هذا النوع من القرار هي محاولة ألفين واينبرغ(*). ففي عام ١٩٦٤ كتب مقالة عرض فيها هذا المنهج: «أودّ إذن أن أؤكد على معيار الجدارة العلمي فأقترح، عند تساوي العوامل الأخرى، ذلك الحقل الذي يتمتع بأكبر جدارة علمية بأن يسهم أكثر من سواه، وبأفضل إنارة، في الفروع العلمية المجاورة». وبعد أن قرأ ألفين مقالة كتبتها حول هذه القضايا كتب إلي يذكرني باقتراحه ذاك، الذي لم أكن قد نسيته ولكنني لم أكن متفقاً معه. لأن هذا النوع من المحاكمة، كما قلت في جوابي لألفين، قد يُستغل لتبرير إنفاق مليارات الدولارات على تصنيف فراشات تكساس على أساس أن هذا التصنيف من شأنه أن ينير تصنيف فراشات أكلاهوما، وكل الفراشات عموماً. لم يكن القصد من هذا المثال المضحك سوى توضيح أن مقولة الأهمية بالنسبة لمشاريع علمية أخرى لا تضيف شيئاً كثيراً إلى أهمية مشروع علمي غير هام. (ربما أستثير بما أقوله هنا غضب علماء الحشرات الذين يودون إنفاق مليارات

---

* صديق لي ليس بيني وبينه علاقة قربى. وعندما كنت عام ١٩٦٦ أزور هارفارد للمرة الأولى وجدت نفسي على الغداء في نادي الكلية مع الفقيد جون فان فليك، الذي كان فيزيائياً أرستقراطياً عنيداً ومن أوائل الذين طبقوا طرائق ميكانيك الكم الجديدة على نظرية الحالة الصلبة في أواخر العشرينيات. وكان أن سألني عما إذا كنت أحد أقرباء «الواينبرغ». فارتبكت قليلاً ولكنني فهمت ما يعنيه؛ فقد كنت في ذلك الوقت فيزيائياً نظرياً صغيراً وكان ألفين يدير مختبر أوك ريدج الوطني، فاستجمعت ذخيرتي من الجرأة وأجبته أنني «الواينبرغ». لا أعتقد أن فان فليك قد صُدم بهذا الجواب.

الدولارات على تصنيف فراشات تكساس) . لكن الذي أفتقده حقاً في معيار ألفين واينبرغ هو أنه يضرب عرض الحائط بالتطلعات **الاختزالية** ؛ فأحد الأشياء التي تجعل العمل العلمي مهماً هو أن يقترب بنا إلى أقرب مكان من نقطة تلاقي تفسيراتنا .

إن بعض القضايا المطروحة على بساط المناقشة حول الاختزالية في الفيزياء قد أثيرت بشكل مفيد من طرف الكاتب جيمس غلايك . (كان غلايك هو الذي أدخل فيزياء الشَوَش في كتب المطالعة العامة) . وقد قال في حديث له مؤخراً :

> إن الشَوَش مضاد للاختزالية . وهذا العلم الجديد يدَّعي لنفسه دوراً فعالاً في هذا العالم ؛ أي بالتحديد أننا ، عندما نصل إلى أهم الشؤون : شؤون النظام والفوضى ، والانحلال والابتداع ، وصورة تشكل الحياة نفسها ، نجد أن المجموع شيئاً لا يمكن شرحه بخصائص مفردات أجزائه .
> يوجد قوانين أساسية بخصوص المنظومات المعقدة ، ولكنها نوع جديد من القوانين . إنها قوانين بنية وتنظيم وسلّم ، وهي تتلاشى تماماً عندما تركز اهتمامك على مفردات مكوِّنات المنظومة المعقدة — بالضبط كما تتلاشى نفسية عصابة إجرامية عندما تتحدث مع أعضائها فرادى .

أريد أن أجيب أولاً أن المسائل المختلفة مهمة من وجهات نظر مختلفة . فمن المؤكد أن مسائل الابتداع والحياة مهمة لأننا أحياء ونحب أن نكون مبدعين . ولكن يوجد مسائل أخرى تنبع أهميتها من أنها تقترب بنا من نقطة تلاقي تفسيراتنا . ولئن كان اكتشاف منبع النيل لا يجدي فتيلاً في معالجة المسائل الزراعية في مصر ، لكن من يستطيع أن يقول إنه لم يكن مهماً ؟

وهذا يغفل أيضاً النقطة الأساسية لهذا النوع من المسائل إذا تحدثنا عن شرح المجموع « **بخصائص مفردات أجزائه** » ؛ **فدراسة الكواركات والإلكترونات أساسية ، لا لأن** كل المادة العادية مصنوعة من كواركات وإلكترونات ، بل لأننا نعتقد أننا سوف نتعلم من دراستها شيئاً عن **المبادئ** التي تحكم كل شيء (لقد كانت التجربة التي استخدمت إلكترونات لرجم الكواركات ضمن النواة الذرية هي التي حسمت موضوع توحيد قوتين من القوى الأساسية الأربع في الطبيعة هما الضعيفة والكهرطيسية) . والواقع أن فيزياء الجسيمات العنصرية تهتم اليوم بالجسيمات الغريبة **غير** الموجودة في المادة العادية أكثر من اهتمامها بالكواركات والإلكترونات الموجودة في هذه المادة ، لأننا نعتقد الآن فقط أن الأسئلة التي تحتاج إلى جواب سوف تتضح بشكل أفضل من خلال دراسة هذه الجسيمات الغريبة . وعندما شرح أينشتاين طبيعة الثقالة في نظريته النسبوية العامة لم يكن هذا الشرح « بلغة الأجزاء » ، بل بلغة هندسة الفضاء والزمن .. وقد يتسنى لفيزيائيي القرن الحادي والعشرين أن يجدوا أن دراسة الثقوب السوداء أو الإشعاع الثقالي تعطي عن قوانين الطبيعة معلومات تفوق

ما تعطيه فيزياء الجسيمات العنصرية. وتركيزنا الحالي على الجسيمات العنصرية يعود إلى حكم تكتيكي ــ لأن ذلك، في الفترة **الراهنة** من تاريخ العلم، هي الطريقة التي يجب اتباعها للتقدم نحو نظرية نهائية.

هناك أخيراً مسألة الانبثاق: هل صحيح أن في الطبيعة أنواعاً جديدة من قوانين تحكم المنظومات المعقدة؟ نعم، ولكن بمعنى أن المستويات المختلفة من الخبرة تستدعي توصيفاً وتحليلاً بلغات مختلفة، وهو بالضبط المعنى الذي يصح في الكيمياء كما يصح في الشوش. ولكن هل هي قوانين جديدة **أساسية** نوعياً؟ إن العصابة الإجرامية التي يذكرها غلايك تقدم مثالاً مضاداً. فنحن نستطيع أن نصوغ ما نعرفه عن العصابات بشكل قوانين (كالقول المأثور بأن الثورات تأكل أبناءها)، ولكن إذا بحثنا عن تفسير لسبب صحة هذه القوانين، فلن نكون سعداء إذا قيل لنا إن هذه القوانين أساسية، بدون أي تفسير مستمد من أي شيء آخر. بل إننا لن نألو جهداً في البحث عن تفسير اختزالي وبلغة علم النفس في فرادى الناس. وهذه المقولات تنسحب على انبثاق الشوش. فالتقدم الكبير الذي حصل هنا في السنوات الأخيرة لم يحصل فقط بسبب رصد المنظومات الشوشية وصياغة قوانين تجريبية تصفها، بل إن الأهم هو الاستنتاج الرياضي للقوانين التي تحكم الشوش من قوانين الفيزياء المجهرية التي تحكم المنظومات التي تصبح شوشية.

يخامرني شعور بأن كل رجال العلم الممارسين (وربما معظم الناس عموماً) هم اختزاليون بمقدار ما أنا اختزالي، رغم أن بعضهم، كإرنست ماير وفيليب أندرسون، لا يحبون أن يصفوا أنفسهم بهذه الكلمة. فالبحوث الطبية، على سبيل المثال، تتناول مسائل مستعجلة وصعبة لدرجة تجعلهم يلجؤون غالباً إلى معالجات جديدة تستند إلى إحصاءات طبية دون فهم للطريقة التي يعمل بها الدواء؛ ولكن حتى لو كانت المعالجة الجديدة مستمدة من خبرة اشتملت على عدد كبير من المرضى، فإنها ستظل عرضة للشك ما لم يستطع أحدهم أن يجد تفسيراً محتملاً اختزالياً، أي في إطار علوم كالبيولوجيا وبيولوجيا الخلية. هب مثلاً أن مجلة طبيّة نشرت مقالتين تعرضان علاجين مختلفين ضد سلّ الجلد **scrofula**: أحدهما بحقن مرقة الدجاج والآخر بلمسة الملك. إنني أعتقد أن المجتمع الطبي (وكل شخص آخر) ستكون له ردود فعل مختلفة إزاء هاتين الطريقتين حتى لو ثبت بالدراسات الإحصائية أن لهما مفعولاً واحداً. وبخصوص مرقة الدجاج أعتقد أن معظم الناس يظلون مفتوحي الذهن بانتظار حكم تؤكده اختبارات مستقلة؛ فمرق الدجاج خليط معقد من أشياء مفيدة، ومن يدري ما تفعل محتوياته في الجراثيم التي تسبب سل الجلد؟ ومن جهة أخرى، وبالغاً ما بلغت الصحة الإحصائية في البرهان على أن لمسة الملك تفيد في الشفاء من

سل الجلد، فإن القارئ لا بد أن يميل إلى شك قوي ظاناً بحصول خدعة ما أو مصادفة لا معنى لها، لأنه لا يرى طريقة يمكن بها تفسير هذا العلاج تفسيراً اختزالياً: علمياً؛ إذ كيف يمكن للجراثيم أن تتأثر سواء كان الشخص الذي يلمس مريضه متوجاً رسمياً أم الابن البكر للملك السابق؟ (حتى في القرون الوسطى، عندما كان يُعتقد أن لمسة الملك من شأنها أن تشفي من سل الجلد، كان الملوك أنفسهم يشكّون بذلك. وبحسب معلوماتي لم يحدث قط في تلك العصور أن استشهد أحد من المتصارعين على وراثة العرش بقدرة لمسته على شفاء هذا المرض كي يبرهن على أحقيته بالعرش). ولا شك أن البيولوجي الذي يدّعي بأن هذا العلاج لا يحتاج إلى برهان لأن لمسة الملك قانون من قوانين الطبيعة قائم بذاته وأساسي كأي قانون آخر، لن يلقى تشجيعاً كثيراً من زملائه، لأنهم يسترشدون بوجهة نظر اختزالية، علمية، شائعة لا مكان فيها لمثل هذه القوانين المستقلة عن سواها.

هذا صحيح في العلوم كلها. فليس من شأننا أن نولي اهتماماً كبيراً لقانون في الاقتصاد العام يقال إنه مستقل فلا يمكن تفسيره استناداً إلى سلوك الأفراد، أو لفرضية بخصوص الناقلية الفائقة لا يمكن تفسيرها بخصائص الإلكترونات والفوتونات ونوى الذرات. فالموقف الاختزالي يوفر مصفاة مفيدة تُجنِّب رجال العلم إضاعة وقتهم على أفكار لا تستحق المتابعة. وبهذا المعنى كلنا اختزاليون الآن.

الفصل الرابع

ميكانيك الكم وخصومه

لاعب يضع كرة بليار على الطاولة وينكزها بالعصا. وبمراقبة الكرة المتدحرجة لاحظ السيد تمكنز مندهشاً أن الكرة تبدأ «تتفشّى». هذه هي الكلمة الوحيدة التي استطاع أن يجدها للتعبير عن السلوك الغريب لهذه الكرة التي راحت، في أثناء حركتها على الطاولة، تتضخم ويبهت لونها وتصبح ذات حدود ضبابية. كانت تبدو وكأنها أكثر من كرة واحدة تتدحرج على الطاولة، بل عدد كبير جداً من كرات متداخلة جزئياً بعضاً في بعض. كان السيد تمكنز قد رأى من قبل مراراً ظواهر كهذه، لكنه لم يشرب هذا اليوم، ولاقطرة ويسكي واحدة، ولم يستطع أن يفهم مايحدث له الآن.

George Gamow, Mr. Tompkins in Wonderland

(السيد تمكنز في بلاد العجائب)

إن اكتشاف ميكانيك الكم في أواسط العشرينيات كان أعمق ثورة في الفيزياء النظرية منذ ولادة الفيزياء الحديثة في القرن السابع عشر. فعند التوغل في خصائص قطعة الطبشور قادتنا سلسلة أسئلتنا خطوة بعد خطوة إلى صياغة الأجوبة بلغة ميكانيك الكم. وكل النظريات الرياضية المبتكرة التي مارسها الفيزيائيون في السنين الأخيرة ــ نظرية الحقل الكمومية، النظريات المعيارية، النظريات الوترية الفائقة ــ قد صيغت في إطار ميكانيك الكم. وإذا كان في فهمنا الحالي للطبيعة شيء يجدر به أن يظل قائماً في نظرية نهائية فهو ميكانيك الكم.

ليست أهمية ميكانيك الكم التاريخية تقتصر على واقع أنه قد قدم أجوبة عن عدد كبير من الأسئلة بخصوص طبيعة المادة، بل إن أهميته الأكبر تعود إلى أنه قد غيَّر أفكارنا عن الأسئلة التي يتاح لنا أن نطرحها. فالنظريات الفيزيائية كانت، لدى خلفاء نيوتن، تهدف إلى توفير أداة رياضية تتيح للفيزيائيين حساب موضع وسرعة جسيم، من أي جملة جسيمات وفي أية لحظة مستقبلية، من المعرفة الكاملة (وهذا لا يتوفر البتة عملياً) لموضع وسرعة هذا

الجسيم في أية لحظة أخرى. لكن ميكانيك الكم قد أدخل طريقة جديدة في الكلام عن حالة المنظومة المادية. فنحن في هذا الميكانيك الجديد نتكلم عن بناءات رياضية، تسمى توابع الموجة، تعطينا معلومات احتمالية فقط عن مختلف المواضع والسرعات الممكنة. وهذا التغيير عميق لدرجة أن الفيزيائيين يستخدمون الآن كلمة «تقليدي Classical»، لا بمعنى «إغريقي — روماني» أو «موزارت، إلخ»، بل بمعنى «قبل ميكانيك الكم».

إذا كان يوجد تاريخ لميلاد ميكانيك الكم، فلا بد أن يكون فترة الإجازة التي أخذها الشاب فيرنر هايزنبرغ عام ١٩٢٥. فبسبب إصابته بحمى التبن (الزكام الطبيعي) ترك هايزنبرغ حقول الزهور قرب غوتنغن ليذهب إلى جزيرة هِلغولاند المعزولة في بحر الشمال. كان هايزنبرغ وزملاؤه يجهدون، لعدة سنوات، في حل مسألة أثارتها عام ١٩١٣ نظرية نيلز بور في نظام الذرة: لماذا لا تحتل إلكترونات الذرة سوى مدارات مباحة ذات طاقات محددة تماماً. وفي هلغولاند صنع هايزنبرغ منطلقاً جديداً: بما أن لا أحد يستطيع أن يرصد مباشرة مدار إلكترون في الذرة قرر هايزنبرغ أن يتعامل فقط مع الكميات التي يمكن قياسها: لا سيما طاقة **الحالات** الكمومية التي تحتل فيها إلكترونات الذرة مدارات مباحة، والمعدَّلات التي بها يمكن للذرة أن تنتقل تلقائياً من إحدى هذه الحالات الكمومية إلى أي حالة كمومية أخرى وذلك بإصدار (أو امتصاص) جسيم ضوئي هو الفوتون. وكان أن أنشأ هايزنبرغ «لوحة» من هذه المعدلات، وأدخل عمليات على هذه اللوحة من شأنها أن تعطي لوحات جديدة، كل لوحة تمثل كمية فيزيائية كموضع الإلكترون أو سرعته أو مربعها(*). وبمعرفة كيف تتعلق طاقة الجسيم، في منظومة بسيطة، بسرعته وموضعه، تمكن هايزنبرغ بطريقته من حساب لوحة تحوي طاقات المنظومة في مختلف حالاتها الكمومية، وذلك بنوع من المحاكاة للطريقة النيوتونية التي تُحسب بها طاقة الكوكب من معرفة موقعه وسرعته.

إذا كان القارئ يحس بغموض فيما قام به هايزنبرغ، فهو ليس الوحيد. فقد حاولتُ عدة مرات أن أقرأ ما كتبه هايزنبرغ عند عودته من هلغولاند؛ ورغم اعتقادي بأنني فهمت ميكانيك الكم، لم أفهم قط دوافع هايزنبرغ للخطوات الرياضية في نشرته. فالفيزيائيون

* وبتعبير أدق، إن مفردات لوحة هايزنبرغ هي ما نسميها سعات الانتقال، وهي كميات تعطي مربعاتها معدَّلات الانتقال. وسرعان ما أُخبر هايزنبرغ، بعد عودته من هلغولاند إلى غوتنغن، أن عملياته الرياضية على هذه اللوحات كانت معروفة سلفاً عند الرياضيين، وهم يسمون هذه اللوحات مصفوفات؛ أما العمليات التي ينتقل بها المرء من اللوحة التي تمثل سرعة الإلكترون إلى اللوحة التي تمثل مربع السرعة فمعروفة باسم ضرب المصفوفات. وهذا مثال على القدرة الكامنة في الرياضيات للتنبؤ بالبنى ذات الصلة بالعالم الواقعي.

النظريون، في أنجح أعمالهم، ميالون إلى لعب أحد دورين: إما دور **الحكماء** وإما دور السحرة. فالفيزيائي الحكيم يفكر بأسلوب مرتب في مسائل الفيزياء استناداً إلى أفكار أساسية بخصوص ما يجب أن تكون عليه الطبيعة. ففي إنشاء نظرية النسبية العامة كان أينشتاين، مثلاً، يلعب دور الحكيم؛ كان لديه مسألة محددة بشكل جيد ــ كيف يلائم بين نظرية الثقالة وبين الرؤية الجديدة للفضاء والزمن التي اقترحها عام ١٩٠٥ في نظرية النسبية الخاصة. كان لديه مفاتيح ذات قيمة، لا سيما الواقع المهم الذي اكتشفه غاليليو وهو أن حركة الأجسام الصغيرة في الحقل الثقالي للأرض مستقلة عن طبيعة هذه الأجسام. وهذا ما أوحى إلى أينشتاين أن الثقالة قد تكون من خصائص الزمكان (الزمان ــ المكان) نفسه. وقد كانت تحت تصرفه أيضاً نظرية رياضية متطورة في الفضاءات المنحنية كان قد اخترعها ريمان ورياضيون آخرون في القرن التاسع عشر. ومن الممكن اليوم تعليم النسبية العامة باتباع طريقة قريبة جداً من خط المحاكمة الذي اتبعه أينشتاين عندما أنجز عمله عام ١٩١٥. ثم هناك الفيزيائيون السحرة الذين يبدو أنهم لا يهتمون بالمحاكمة المرتبة بتاتاً بل يقفزون فوق كل الخطوات المرحلية إلى وجهة نظر جديدة بخصوص الطبيعة. لكن مؤلفي كتب الفيزياء يحبون عموماً أن يعيدوا عمل السحرة بما يجعلهم يبدون كالحكماء؛ وإلا لعجز القارئ عن أن يفهم الفيزياء. كان بلانك ساحراً حين اخترع نظرية الإشعاع الحراري عام ١٩٠٠، وبالعدوى لعب أينشتاين دور الساحر حين اقترح فكرة الفوتون عام ١٩٠٥. (ربما كان هذا هو السبب في أنه وصف نظرية الفوتون بأنها ثورية أكثر من كل أعماله). وليس من الصعب عموماً فهم نشرات الفيزيائيين الحكماء، لكن نشرات الفيزيائيين السحرة غالباً ما تكون عصية على الفهم. وبهذا المعنى كانت نشرة هايزنبرغ، عام ١٩٢٥، سحرية محضة.

ربما كان علينا أن لا نوغل أكثر من اللازم في نشرة هايزنبرغ الأولى. فقد كان هذا الشاب على اتصال بعدد من الفيزيائيين النظريين الموهوبين، ومنهم ماكس بورن وباسكوال جوردان في ألمانيا وبول ديراك في إنكلترا؛ وما لبث هؤلاء أن صاغوا، قبل نهاية ١٩٢٥، أفكار هايزنبرغ بشكل مفهوم ومنهجي هو أحد أشكال ميكانيك الكم، الذي يسمى اليوم ميكانيك المصفوفات. وفي كانون الثاني/يناير الذي يليه تمكن وولفغانغ باولي، زميل هايزنبرغ القديم في إحدى مدارس همبورغ، من استخدام ميكانيك المصفوفات الجديد لحل المسألة النموذجية في الفيزياء الذرية، ألا وهي حساب طاقة الحالات الكمومية لذرة الهدروجين، فبرر بذلك النتائج التي كان بور قد حصل عليها بطريقة مقتضى الحال.

كان الحساب الميكانيكي الكمومي الذي أجراه باولي للمستويات الطاقية في ذرة الهدروجين برهاناً على كفاءة رياضية، على استخدام حكيم لقواعد هايزنبرغ وللتناظرات

الخاصة في هذه الذرة . ورغم أن هايزنبرغ وديراك كانا أكثر إبداعاً من باولي ، إلا أنك لا تجد بين الفيزيائيين الأحياء في ذلك الحين من هو أذكى من باولي . ومع ذلك لم يستطع أحد ، حتى باولي نفسه ، أن يعمم هذا الحساب على الذرة التي تلي الهدروجين في البساطة ، ذرة الهليوم ، ولا سواها طبعاً من الذرات والجزيئات الأثقل .

إن ميكانيك الكم الذي نعلّمه اليوم للطلاب الجامعيين ، والذي يستخدمه الكيميائيون والفيزيائيون يومياً في أعمالهم ، ليس في الواقع ميكانيك المصفوفات الذي ابتدعه هايزنبرغ وبالويل وشركاؤهما ، بل هو صياغة رياضية متكافئة ــ رغم أنها أكثر ملاءمة بكثير ــ أتى بها إرفين شرودنغر بعد قليل . وفي صياغة شرودنغر هذه تكون الحالات الفيزيائية الكمومية للمنظومة منضوية في كمية معروفة باسم التابع (**الدالّة**) **الموجي** للمنظومة ، وذلك على شاكلة طريقة توصيف الضوء بموجة حقل كهرطيسي . إن صياغة ميكانيك الكم بطريقة التابع الموجي كانت قد ظهرت ، قبل أعمال هايزنبرغ ، في نشرات كتبها لوي دوبروي عام ١٩٢٣ وفي أطروحته لنيل الدكتوراه من جامعة باريز عام ١٩٢٤ . لقد حزر دوبروي أن الإلكترون يمكن أن يُعتبر نوعاً من الموجة طولها ذو صلة باندفاع الإلكترون تشبه صلة طول الموجة الضوئية باندفاع الفوتون ، كما صاغها أينشتاين : أي أن طول الموجة في الحالين يساوي حاصل قسمة ثابتة أساسية من ثوابت الطبيعة ، اسمها ثابتة بلانك ، على الاندفاع . لم يكن لدى دوبروي أية فكرة عن المغزى الفيزيائي للموجة التي اقترحها ، كما أنه لم يخترع أية معادلة موجية دينامية . فهو لم يفترض سوى أن المدارات المباحة للإلكترون في ذرة الهدروجين يجب أن تكون ذات طول محيطي يستوعب بالضبط عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية : طول موجي واحد من أجل الحالة ذات الطاقة الأخفض(*) ، طولين موجبين اثنين من أجل الحالة التي تليها ، وهكذا . وقد كان من المدهش أن يعطي هذا التخمين البسيط ، غير المستند إلى أساس متين ، النتائج الناجحة نفسها ، بخصوص طاقات مدارات الإلكترون في ذرة الهدروجين ، التي حصل عليها بور قبل ذلك بعقد من الزمان .

وبمثل هذه الأطروحة في جعبته كان يُتوقع من دوبروي أن يستمر كي يحل مسائل الفيزياء كلها . والواقع أنه يكاد لم يفعل أشياء مهمة في حياته إلا ما ذكرناه هنا . بل كان شرودنغر ، في زوريخ ، هو الذي حوّل ، في العامين ١٩٢٥ ــ ٢٦ ، أفكار دوبروي شبه الغامضة بخصوص موجات الإلكترون إلى صياغة رياضية متماسكة تنطبق على الإلكترون

* أي المدار الأقرب إلى نواة الذرة . أنظر كتابنا المترجَم « مع القفزة الكمومية » (ص٨٤) : منشورات دار طلاس بدمشق .
المترجم

وسواه من الجسيمات في أي نوع ذري أو جزيئي . ثم استطاع شرودنغر أن يبرهن على أن « ميكانيكه الموجي » يكافىء ميكانيك هايزنبرغ المصفوفي ؛ أي أن كلاً منهما يمكن أن يُستنتج رياضياً من الآخر .

يوجد في قلب طريقة شرودنغر معادلة دينامية (معروفة منذئذ باسم معادلة شرودنغر) تتحكم في طريقة تغير الموجة المواكبة للجسيم بمرور الزمن . فبعض حلول معادلة شرودنغر ، من أجل إلكترونات الذرة ، تهتز ببساطة بتواتر (تردد) واحد صافٍ ، كالموجة الصوتية التي تولدها رنانة مثالية ، وهذه الحلول الخاصة تقابل الحالات الكمومية المستقرة المتاحة للذرة أو الجزيء (وهذا يشبه أمواج الاهتزاز المستقرة في الرنانة) والتي طاقتها تساوي حاصل ضرب التواتر بثابتة بلانك . وهذه هي الطاقات التي تتجلى لنا كألوان للضوء الذي يمكن للذرة أن تُصدره أو تمتصه .

إن معادلة شرودنغر هي من نوع المعادلة (المعروفة باسم معادلة تفاضلية جزئية) التي كانت تُستعمل منذ القرن التاسع عشر لدراسة أمواج الصوت أو الضوء . وقد أصبح الفيزيائيون في العشرينيات من هذا القرن خبراء في هذا النوع من المعادلات الموجية لدرجة أنهم كانوا جاهزين للاضطلاع بحساب الطاقات وخصائص أخرى لكل أنواع الذرات والجزيئات . فكان ذلك عصر الفيزياء الذهبي . ثم توالت نجاحات أخرى بسرعة كبيرة وراحت تكشف ، واحداً بعد آخر ، أسرار الذرات والجزيئات .

ورغم هذا النجاح لم يعرف في البدء أي من دوبروي وشرودنغر وسواهما كنه الكمية الفيزيائية التي تهتز في موجة الإلكترون. فالموجة ، مهما كان نوعها ، تعبِّر في كل لحظة عن مجموعة أعداد ، عدد واحد لكل نقطة من الفضاء الذي تعبره الموجة : فهذه الأعداد تعطي شدتي واتجاهي الحقلين ، الكهربائي والمغنطيسي ، في الفضاء الذي يسير فيه الضوء . وموجة الإلكترون يمكن أن توصف أيضاً في كل وقت بقائمة أعداد ، عدد واحد لكل نقطة من الفضاء ضمن الذرة أو حولها . وهذه هي القائمة المعروفة باسم تابع الموجة ، وتسمى هذه الأعداد فرادى باسم قيم تابع الموجة . ولكن كان كل ما يمكن قوله في البدء ، بخصوص تابع موجة الإلكترون ، هو أنه حل معادلة شرودنغر ؛ لأن الجميع كانوا يجهلون في ذلك الوقت الكمية الفيزيائية التي تعبِّر عنها هذه الأعداد .

كان النظريون الكموميون في أواسط العشرينيات في موقف لا يختلف عن موقف الفيزيائيين الذين كانوا يدرسون الضوء في بداية القرن التاسع عشر . فقد كانت ملاحظة ظاهرة الانعراج (عجز الضوء عن اتباع خطوط مستقيمة عندما يمر على مقربة من الأجسام

أو عندما يعبر ثقوباً صغيرة) قد أوحت إلى توماس يونغ وأُغستان فرينل أن الضوء نوع من الأمواج وأنه لا يسير في خطوط مستقيمة عندما يُجبر على اقتحام ثقوب صغيرة ، لأن الثقوب أصغر من طول موجته . ولكن لم يكن أحد ، في بدايات القرن التاسع عشر ، يدري **كنه** الموجة الضوئية ؛ ولم يتضح إلا على يدي مكسويل ، في ستينيات القرن التاسع عشر ، أن الضوء موجة حقلين متغيرين ، مغنطيسي وكهربائي ، يسيران متصاحبين . ولكن ما هو الشيء الذي يتغير في موجة الإلكترون .

لقد جاء الجواب من دراسة نظرية لتصرف الإلكترونات الحرة عندما تُرجم بها الذرات . فمن الطبيعي أن يوصف الإلكترون الذي يسير في الفضاء الخالي بأنه رزمة موجية ، صُرَّة صغيرة من أمواج تكتنف الإلكترون وتصاحبه سائرة معه ، وكأنها نفثة موجات ضوئية صدرت عن مصباح جيب ولم تستغرق سوى لحظة خاطفة . تدل معادلة شرودنغر على أن هذه الرزمة تتفتت عندما تصيب ذرة ما ، فتنقلب إلى مويجات تتناثر في كل الاتجاهات كما يتناثر رذاذ الماء الخارج من أنبوب سقاية الحديقة عندما يضرب صخرة صماء . كانت هذه الظاهرة محيِّرة ، إذ أن الإلكترونات التي تضرب الذرات ترتد عنها في هذا الاتجاه أو ذاك ولكنها لا تتفتت ، بل تظل إلكترونات سليمة . فكان أن اقترح ماكس بورن عام ١٩٢٦ تفسيراً ، لسلوك تابع الموجة بهذا الشكل ، يستند إلى فكرة الاحتمالات . أي أن الإلكترون لا يتفتت ، ولكن بمقدوره أن ينعطف في أي اتجاه ، واحتمال انعطافه في اتجاه معين يكون أعظمياً في الاتجاهات التي تجعل تابع الموجة يأخذ قيماً أعظمية . أي ، بتعبير آخر ، أن موجات الإلكترون ليست موجات **من** أي شيء ؛ ومغزى ذلك أن قيمة تابع الموجة في أية نقطة تخبرنا فقط عن احتمال أن يكون الإلكترون فيها أو في جوارها القريب .

لم يكن شرودنغر ولا دوبروي مرتاحين لفهم موجات الإلكترون بهذا الشكل ، مما قد يفسر أن أياً منها لم يسهم إسهاماً هاماً في التطوير اللاحق لميكانيك الكم . لكن التفسير الاحتمالي لموجات الإلكترون لقي دعماً في تبيان قدمه هايزنبرغ في السنة التالية . كان هايزنبرغ يتفكر في المسائل التي يصادفها الفيزيائي حين يضطلع بقياس موضع الإلكترون واندفاعه . فالقياس الدقيق لموضع الإلكترون يستوجب استعمال ضوء ذي طول موجة قصير ، لأن انعراج الضوء يجعل صورة الشيء ضبابية إذا كان هذا الشيء أصغر من طول موجة الضوء الذي ينيره . لكن كلما كان طول موجة الضوء صغيراً كان اندفاع فوتوناته أكبر ؛ وعندما تُستعمل لإنارة الإلكترون فوتونات كبيرة الاندفاع ، فإن الإلكترون يعاني صدمة تحرفه عن موضعه آخذاً قسطاً من اندفاع الفوتون الصادم . ومعنى ذلك أننا كلما حاولنا الحصول على مزيد من الدقة في قياس موضع الإلكترون ساءت دقة معرفتنا بعد هذا

القياس باندفاع الإلكترون. إن هذه القاعدة تسمى مبدأ الارتياب لهايزنبرغ(*). فموجة الإلكترون، عندما تتخذ شكل قمة حادة في موضع ما، تمثل إلكتروناً له موضع معين جيداً، ولكن له اندفاع يمكن أن يملك أية قيمة تقريباً. وفي مقابل ذلك، فإن موجة الإلكترون، عندما تتخذ شكل منحن أملس تتوالى فيه ذرى وحضائض بفواصل متساوية ويمتد لمسافة تساوي عدة أطوال موجية، تمثل إلكتروناً اندفاعه معين جيداً، ولكن موضعه مشوب بارتياب كبير. أما الإلكترونات الموجودة في الذرات أو في الجزيئات فليس لها مواضع ولا اندفاعات محددة بكل دقة.

لقد استمر الفيزيائيون في التجادل حول تفسير ميكانيك الكم ولسنوات كثيرة بعد أن اكتسبوا خبرة في حل معادلة شرودنغر. كان أينشتاين وحيداً في استبعاد ميكانيك الكم في أعماله، لكن معظم الفيزيائيين كانوا يحاولون فهمه فقط. كان كثير من هذا الجدل يدور في المعهد الجامعي للفيزياء النظرية في كوبنهاجن بقيادة نيلز بور(**). كان بور يركز اهتمامه على سمة نوعية من سمات ميكانيك الكم أسماها تتامية (Complementarity): إن معرفة أحد جوانب منظومة ما، تحول دون معرفة بعض جوانب أخرى من هذه المنظومة. ومبدأ هايزنبرغ الارتيابي مثال على التتامية: معرفة موضع الجسيم (أو اندفاعه) تحول دون معرفة اندفاعه (أو موضعه)(***).

في حوالي عام ١٩٣٠ أفضت المناقشات التي حصلت في معهد بور إلى صياغة «أصولية» لما يسمى اليوم تفسير كوبنهاغن لميكانيك الكم، وذلك في إطار أصبح اليوم أعمّ

---

* وبتعبير أدق نقول: بما أن طول موجة الضوء يساوي حاصل قسمة ثابتة بلانك على اندفاع الفوتون، لا يمكن للارتياب في موضع أي جسيم أن يكون أقل من حاصل قسمة ثابتة بلانك على اندفاع الجسيم. ونحن لا نلحظ هذا الارتياب في حال الأجسام العادية ككرات البليار، لأن ثابتة بلانك صغيرة جداً. ففي جملة الوحدات الشائعة لدى الفيزيائيين، المستمدة من السنتيمتر والغرام والثانية الزمنية، تكون هذه الثابتة مساوية كسراً عشرياً يتألف من صفر بعده فاصلة يتلوها ستة وعشرون صفراً ثم العدد ٦٦٢٦. فهي إذن صغيرة لدرجة أن طول موجة كرة البليار المتدحرجة على الطاولة يقل عن قطر نواة الذرة، ولهذا السبب لا توجد صعوبة كبيرة في إجراء قياس دقيق لموضع هذه الكرة واندفاعها، في وقت واحد معاً.

** لقد حظيت باجتماع مع بور عندما كان في أواخر حياته المهنية، وكنتُ في بدايات عملي المهني. كنت ضيفاً عليه عندما ذهبت في سنتي الأولى بعد الجامعية إلى معهده في كوبنهاغن، لكننا لم نتحدث معاً إلا وقتاً قصيراً ــ كان بور مشهوراً بغمغمته في الكلام، فكان من الصعب أن تفهم ما يعنيه. وما زلت أتذكر المسحة المرتاعة على وجه زوجتي عندما كان يتكلم معها في أثناء حفلة في قاعة استقباله في بيته، وقد شعرت أنها لم تدرك شيئاً مما كان يقوله الرجل العظيم.

*** كان بور في أواخر حياته يلحّ على أهمية التتامية في الشؤون البعيدة عن الفيزياء. ويُحكى أن أحدهم سأله باللغة الألمانية عن الصفة المتممة **للحقيقة**؛ ففكر برهة ثم أجاب بأنها **الوضوح**. لقد شعرت بقوة هذه الملاحظة وأنا أكتب هذا الفصل من الكتاب.

بكثير من الميكانيك الموجي للإلكترونات الفردية : إن حالة المنظومة في أي وقت ، سواء كانت مؤلفة من جسيم واحد أو من عدة جسيمات ، تتمثل بقائمة أعداد معروفة باسم تابع الموجة ، وكل عدد من هذه القائمة يقابل وضعية ممكنة للمنظومة . ويمكن توصيف الحالة نفسها بإعطاء قيم تابع الموجة من أجل الوضعيات التي تتميز بخصائص مختلفة متنوعة ــ بمواضع كل جسيمات المنظومة مثلاً ، أو باندفاعات كل جسيمات المنظومة ، أو بخصائص أخرى متنوعة غير مواضع واندفاعات كل الجسيمات .

إن النقطة الجوهرية في تفسير كوبنهاغن هي الفصل القاطع بين المنظومة نفسها وبين الجهاز المستخدم لقياس وضعيتها . وهنا يُلحّ ماكس بورن على أن قيم تابع الموجة تتطور ، في الزمن الفاصل بين قياس وآخر ، تطوراً استمرارياً وحتمياً جداً تفرضه نسخة معممة من معادلة شرودنغر . وفي أثناء هذا التطور لا يمكن أن نقول إن المنظومة موجودة في وضعية محددة . فإذا قسنا وضعية المنظومة (بأن نقيس مثلاً كل مواضع الجسيمات أو كل اندفاعاتها ، ولكن لا الاثنين معاً) نجد أنها تقفز إلى حالة محددة بوضعية أو بأخرى ، واحتمالات هذه الوضعيات معطاة بمربعات قيم تابع الموجة من أجل هذه الوضعيات في لحظة بدء عملية القياس .

إن توصيف ميكانيك الكم بالكلمات فقط لا يقود إلا إلى انطباع غامض عن مغزاه . لكن ميكانيك الكم بحد ذاته ليس غامضاً ؛ ومع أنه يبدو غريباً لأول وهلة ، إلا أنه يوفر إطاراً جيداً لحساب الطاقات ومعدلات الانتقال والاحتمالات . وأود أن أحاول اصطحاب القارئ للتوغل قليلاً في ميكانيك الكم . وفي سبيل ذلك سأتناول هنا أبسط ما يمكن من أنواع المنظومات ، منظومة لا يمكن أن تتخذ سوى إحدى وضعيتين . يمكن أن نتصور هذه المنظومة جسيماً خرافياً لا يمكنه أن يتخذ سوى موضعين اثنين ، بدلاً من عدد لا نهائي من المواضع ــ الجسيم إما **هنا** وإما **هناك** . وعندئذ توصف حالة المنظومة في أي وقت بعددين هما قيمتا تابع الموجة : **هنا وهناك** .

إن توصيف جسيمنا الخرافي ، في الفيزياء التقليدية ، بسيط جداً : إنه بلا ريب **هنا** أو **هناك** ، رغم أنه قد يقفز من **هنا** إلى **هناك** ، أو بالعكس ، بأسلوب يفرضه قانون دينامي (تحريكي) ما . لكن الأمور أعقد من ذلك في ميكانيك الكم . ففي أثناء عدم رصدنا للجسيم يمكن لحالة المنظومة أن تكون **هنا** بالتحديد ، وعندئذ تختفي القيمة **هناك** من تابع الموجة ، أو أن تكون **هناك** بالتحديد ، وعندئذ تختفي ، القيمة **هنا** من تابع الموجة ؛ ولكن يمكن أيضاً (وهذا أكثر شيوعاً) أن لا تختفي أي من القيمتين وأن الجسيم ليس **هنا** بشكل مؤكد وليس **هناك** بشكل مؤكد . أما إذا نظرنا فعلياً كي نرى ما إذا كان الجسيم **هنا** أم

هناك، فسنجد بالطبع أنه في هذا الموضع أو في الموضع الآخر؛ واحتمال أن يتبين أنه **هنا** مُعطى بمربع القيمة **هنا** التي يتخذها تابع الموجة في لحظة بدء عملية القياس، أما احتمال أن نجده **هناك** فتُعطى بمربع القيمة **هناك** لهذا التابع في لحظة البدء بالقياس. ونحن، بموجب تفسير كوبنهاغن وعندما نقيس ما إذا كان الجسيم في الوضعية **هنا** أم في الوضعية **هناك**، نجد أن قيم تابع الموجة تقفز إلى القيمتين الجديدتين: إما أن تصبح قيمة **هنا** مساوية العدد واحد وقيمة **هناك** مساوية الصفر، أو العكس؛ لكن معرفة تابع الموجة لا تتيح لنا أن نتنبأ بما سيحدث فعلاً، بل تتيح حساب احتمالي ما سيحدث.

إن هذه المنظومة، ذات الوضعيتين فقط، بسيطة لدرجة أن معادلة شرودنغر التي تمثلها يمكن أن تُشرح بدون رموز. ففي أثناء الفترات بين القياسات يكون معدل تغير قيمة **هنا** لتابع الموجة مساوياً حاصل ضرب عدد ثابت بقيمة **هنا** مضافاً إليه حاصل ضرب عدد ثابت ثانٍ بقيمة **هناك**؛ ومعدل تغير القيمة **هناك** يساوي حاصل ضرب عدد ثابت ثالث بقيمة **هنا** مضافاً إليه حاصل ضرب عدد ثابت رابع بقيمة **هناك**. إن هذه الأعداد الثابتة الأربعة تُعرف إجمالياً باسم **هاملتوني** هذه المنظومة البسيطة. فالهاملتوني يميز المنظومة نفسها، لا إحدى حالاتها الخاصة؛ إنه يخبرنا عن كل ما نريد معرفته عن كيفية تطور المنظومة من أي ظرف بدئي معلوم. فميكانيك الكم بحد ذاته لا يخبرنا ما هو الهاملتوني ــ يجب استنباط الهاملتوني مما نعرفه عن طبيعة المنظومة المدروسة من معلومات تجريبية ونظرية.

إن هذه المنظومة البسيطة يمكن أن تفيد أيضاً عند اللزوم لإيضاح فكرة تتامية بور، وذلك باتباع طرائق أخرى لتوصيف حالة الجسيم نفسه. يوجد، مثلاً، حالتان يمكن أن نسميهما حالتي اندفاع بكلمتي **توقف وسير**، وفيهما تكون **قيمة هنا** للتابع الموجي مساوية على التوالي إما **قيمته هناك** أو **قيمته** ناقص **هناك**. ونستطيع إذا أردنا أن نصف تابع الموجة بلغة **قيمتيه توقف وسير** بدلاً من **قيمتي هنا وهناك**: القيمة **توقف** هي **مجموع** القيمتين **هنا وهناك**، والقيمة **سير** هي فرقهما. فإذا اتفق لنا معرفة أن موضع الجسيم هو بلا ريب **هنا**، عندئذ يجب على **هناك** أن تختفي من تابع الموجة، مما يعني وجوب أن تتساوى قيمتا **توقف وسير** في تابع الموجة، أي أننا لا نعلم أي شيء عن اندفاع الجسيم: لكل من **توقف وسير** احتمال يساوي ٥٠٪. والعكس صحيح: إذا علمنا دون ريب أن الجسيم في حالة **توقف** باندفاع معدوم عندئذ تختفي **قيمة سير**؛ وبما أن **قيمة سير** هي الفرق بين **قيمتي هنا وهناك** يجب أن تتساوى قيمتا **هنا وهناك**، مما يعني أننا لا نعلم شيئاً عما إذا كان الجسيم **هنا** أم **هناك**، أي أن لكل منهما احتمالاً يساوي ٥٠٪. وهكذا نرى أن هناك تتامية كاملة بين «**هنا** أو **هناك**» وبين عملية قياس «**توقف** أو **سير**»: نستطيع أن نجري أي واحد من نوعي

القياس، لكن الذي نختار إجراءه يتركنا جاهلين كلياً النتائج التي كنا سنحصل عليها لو أجرينا نوع القياس الآخر.

إن الجميع متفقون على كيفية استخدام ميكانيك الكم، لكن بينهم خلافاً شديداً حول كيفية فهم ما نحن بصدد فعله عندما نستخدم هذا الميكانيك. فبالنسبة لأولئك الذين كانوا يشعرون بجرح من اختزالية وحتمية الفيزياء النيوتنية كان في ميكانيك الكم شيئان يبدوان كالبلسم. فالكائنات البشرية، وهي لم يكن لها أية مكانة خاصة في الفيزياء النيوتنية، أصبح لها دور أساسي في إعطاء معنى لميكانيك الكم من خلال عملية القياس. وحيث كانت الفيزياء النيوتنية تتكلم عن نبوءات محددة تماماً، أصبح ميكانيك الكم لا يفضي الآن إلا إلى حساب احتمالات حدوثها، مما يبدو معه أن الإرادة البشرية الحرة، أو التدخل الرباني، قد استرد مكانه.

وبعض رجال العلم والكتّاب، أمثال فريتجوف كابرا، رحبوا بما يرونه مناسبة للتوفيق بين روح العلم وبين أنبل ما تنطوي عليه طبيعتنا البشرية. أما أنا فكان يمكن أن أتفق معهم لو كنت أعتقد أنها مناسبة حقيقية، ولكنني لا أعتقد أنها كذلك. صحيح أن ميكانيك الكم قد سيطر الآن على علم الفيزياء، لكنني لا أستطيع أن أجد في ميكانيك الكم أية رسالة للبشر تختلف اختلافاً هاماً عما في الفيزياء النيوتنية.

وبما أن هذه الموضوعات ما تزال موضع أخذ ورد، فقد أقنعت «شخصيتين» مشهورتين بمناقشتها هنا.

حوار حول معنى ميكانيك الكم

تيم الصغير: أعتقد أن ميكانيك الكم رائع جداً. فأنا لم أُحب قط مقولة الميكانيك النيوتني بأنك، إذا عرفت موضع أي جسيم وسرعته في أي وقت، تستطيع أن تتنبأ بكل مستقبله، دون أن يكون للإرادة الحرة نصيب ولا للبشر أي دور خاص بتاتاً. أما الآن ففي ميكانيك الكم أصبحت كل النبوءات غامضة واحتمالية، ولا شيء له حالة محددة إلا عندما يرصده كائن بشري. إنني على يقين من أن بعض المتصوفين الشرقيين قد قالوا شيئاً من هذا القبيل.

سكروج: على رسلك! ربما كنتُ قد غيرت رأيي بخصوص بابا نويل، ولكنني ما زلت أشعر بشيء من الانخداع عندما أسمعه. صحيح أن الإلكترون ليس له موضع واندفاع محددان معاً في وقت واحد، لكن هذا يعني فقط أنهما ليسا كميتين ملائمتين للاستعمال في توصيف الإلكترون. لكن ما يمتلكه الإلكترون بالفعل، أو أي مجموعة من الجسيمات وفي

أي وقت، هو التابع الموجي. فإذا وُجد إنسان يرصد الجسيم، عندئذ تكون المنظومة بمجملها ومن ضمنها الإنسان موصوفة بتابع موجي. وتطور التابع الموجي فيه من الحتمية ما في مدارات الجسيمات في الميكانيك النيوتني. والواقع أنه أكثر حتمية، لأن المعادلة التي تخبرنا بكيفية تطور تابع الموجة بمرور الزمن أبسط من أن تبيح حلولاً شوشية. فأين هي إذن إرادتك الحرة؟

تيم الصغير: إنني حقاً مندهش من طريقتك غير العلمية في الجواب. إن تابع الموجة ليس واقعاً موضوعياً، لأنه لا يمكن قياسه. فإذا لاحظنا، مثلاً، أن الجسيم **هنا** لا نستطيع أن نستنتج من ذلك أن تابع الموجة كان له **قبل** الرصد قيمة **هناك** معدومة؛ بل ربما كان له أي قيمتين **هنا وهناك** واتفق للجسيم أن يظهر **هنا** بدلاً من **هناك** عندما رُصد. فإذا كان تابع الموجة غير واقعي، لماذا أنت تولي هذا الاهتمام الكبير لقضية أنه يتصرف تصرفاً حتمياً؟ فكل ما نقيسه لا يتعدى كميات كالمواضع والاندفاعات والسبين، ونحن بخصوصها لا نستطيع أن نتنبأ إلا بالاحتمالات. وإلى أن يتدخل إنسان لقياس هذه الكميات، لا نستطيع أن نقول بتاتاً إن للجسيم حالة محددة.

سكروج: ياعزيزي الشاب، يبدو أنك صدَّقت بدون مناقشة مذهب القرن التاسع عشر المسمى حواسية (يقينية) والذي يقول بأن العلم يجب أن لا يشغل نفسه إلا بالأشياء التي يمكن استشعارها فعلاً. وأنا أتفق معك أن ليس بالإمكان قياس تابع الموجة في أية تجربة. وماذا في ذلك؟ إن تكرار عملية قياس الحالة البدئية نفسها مرات كثيرة يتيح لك أن تستنبط ما يجب أن يكون تابع الموجة في تلك الحالة وأن تستخدم النتائج كي تمتحن النظريات. فماذا تريد أكثر من هذا؟ عليك أن تركز تفكيرك على القرن العشرين. إن توابع الموجة الواقعية لنفس سبب واقعية الكواركات والتناظرات — لأن من المفيد تضمينها في نظرياتنا. إن المنظومة، أياً كانت، موجودة في حالة محددة **سواء رصدها البشر أم لم يرصدوها**؛ إن توصيف الحالة لا يكون بالوضع والاندفاع، بل بتابع موجة.

تيم الصغير: لا أظن أنني أرغب في مناقشة ما هو واقعي أو غير واقعي مع إنسان يقضي لياليه بصحبة الأشباح. دعني فقط أُذكرك بمشكلة خطيرة تقع فيها عندما تتوهم أن تابع الموجة حقيقي. لقد ذكر أينشتاين هذه المشكلة عندما هاجم ميكانيك الكم عام ١٩٣٣ في مؤتمر سُلفي الذي انعقد في بروكسل ثم كتبها عام ١٩٣٥ في نشرة مشهورة بالاشتراك مع بوريس بودولسكي وناثان روزِن. هب أن لدينا منظومة مؤلفة من إلكترونين اثنين تم تدبيرهما بحيث يكون بينهما في وقت ما مسافة كبيرة معروفة وبحيث نعرف مجموع اندفاعيهما. (إن

هذا الافتراض لايخرق مبدأ هايزنبرغ الارتيابي . فالمسافة ، مثلاً ، يمكن أن تقاس بالدقة التي نريدها وذلك بأن نرسل أشعة ضوئية ، ذات طول موجة قصير جداً ، من إلكترون للآخر ؛ وهذا من شأنه أن يشوِّش اندفاع كل من الإلكترونين دون أن يغيِّر **مجموع** الاندفاعين ، بموجب انحفاظ الاندفاع) . فإذا قاس إنسان اندفاع الإلكترون الأول يمكنه أن يحسب فوراً اندفاع الإلكترون الثاني لأن مجموع الاندفاعين معلوم . ومن جهة أخرى ، إذا قاس إنسان موضع الإلكترون الأول يمكنه أن يحسب فوراً موضع الإلكترون الثاني لأن المسافة بينهما معلومة . لكن هذا يعني أنك ، برصد حالة الإلكترون الأول ، تستطيع فورياً أن تغير تابع الموجة لهذه المنظومة بما يجعل الإلكترون الثاني ذا موضع محدد أو اندفاع محدد ، **رغم أنك لم تقارب بتاتاً الإلكترون الثاني** . هل أنت سعيد حقاً من اعتقادك بأن توابع الموجة واقعية إذا كان بإمكانها أن تتغير بهذا الشكل ؟

سكروج : أستطيع أن أقبل ذلك . كما أنني لا آبه بقواعد النسبية الخاصة التي تحظر على الإشارات أن تسير بأسرع من الضوء ؛ ولا يوجد تعارض مع هذه القاعدة . فالفيزيائي الذي يقيس اندفاع الإلكترون الثاني لا يملك وسيلة لمعرفة ما إذا كانت القيمة التي وجدها قد تأثرت من رصد الإلكترون الأول . وكل ما يعرفه الفيزيائي هو أن الإلكترون ، قبل إجراء القياس ، ربما كان يملك ، على حد سواء ، موضعاً محدداً أو اندفاعاً محدداً . وأينشتاين نفسه لا يستطيع أن يستخدم هذا النوع من القياس لإرسال إشارات تصل فورياً من إلكترون للآخر . (وبما أنك كنت بهذا الصدد ، كان من حقك أن تذكر أن جون بيل قد توصل إلى نتائج لميكانيك الكم أغرب من ذلك بخصوص سبينات الذرات ، وبرهن الفيزيائيون التجريبيون على أن السبينات في المنظومات الذرية تتصرف فعلاً بالشكل المتوقع من ميكانيك الكم ، لكن العالم هكذا بالضبط) . ويبدو لي أن لا شيء من هذا يجبرنا على نبذ فكرة أن تابع الموجة واقعي ؛ إنه فقط يتصرف بطريقة لم نتعودها ، بما في ذلك التغيرات الآنية (الفورية) التي تتناول تابع موجة العالم بأكمله . وأعتقد أن عليك أن توقف البحث في ميكانيك الكم عن رسالة أعمق فلسفياً ، ودعني أستمر في استعماله .

تيم الصغير : مع كل احترامي ، يجب أن أقول إنك إذا استطعت أن تتقبل أن تغيرات تابع الموجة تنتقل فورياً وآنياً عبر الفضاء ، أظن أنك تستطيع أن تتقبل أي شيء . وعلى كل حال ، آمل أن تعذرني إذا قلتُ إنك لست منطقياً جداً . فقد قلتَ إن تابع موجة أي منظومة يتطور تطوراً حتمياً تماماً ، وأن الاحتمالات تدخل في الصورة عندما نجري عمليات القياس فقط . لكن الإلكترون ، في وجهة نظرك ، ليس وحيداً بل إنه وجهاز القياس والراصد البشري

الذي يستخدمه يشكلون معاً منظومة كبيرة واحدة موصوفة بتابع موجة ذي عدد كبير من القيم تتطور كلها تطوراً حتمياً حتى في أثناء عملية القياس. فإذا كان كل شيء يحدث بشكل حتمي، فكيف يمكن أن يوجد أي ارتياب في نتائج القياسات؟ ومن أين تأتي الاحتمالات في أثناء إجراء القياسات؟

* * * * *

إنني أتعاطف بعض الشيء مع كلا الجانبين في هذا الجدل، رغم أنني أقرب إلى واقعية سكروج مني إلى حواسية تيم الصغير. وقد أعطيتُ الكلمة الأخيرة إلى تيم الصغير لأن المسألة التي طرحها في النهاية كانت أهم لغز في فهم ميكانيك الكم. فتفسير كوبنهاغن الأصولي الذي شرحته قبل قليل يستند إلى فصل قاطع بين المنظومة الفيزيائية، المحكومة بقواعد ميكانيك الكم، وبين الجهاز المستخدم لدراستها ذي الأوصاف التقليدية، أي المعتمد على فيزياء ما قبل الكم. إن جسيمنا الخرافي يمكنه أن يمتلك تابع موجة بكلا القيمتين **هنا وهناك** ولكنه، عندما يُرصد، يصبح بطريقة ما محدداً: إما **هنا** وإما **هناك**، بأسلوب لا يمكن التنبؤ به البتة إلا في إطار الاحتمالات. لكن هذا الفرق في التعامل بين المنظومة في أثناء رصدها وبين جهاز القياس فرق وهمي بالتأكيد. فنحن نعتقد أن ميكانيك الكم يحكم كل شيء في هذا العالم، وليس فقط فرادى الإلكترونات والذرات والجزيئات ولكن أيضاً جهاز القياس والفيزيائيين الذين يستخدمونه. فإذا كان تابع الموجة يصف، على حد سواء، جهاز القياس والمنظومة التي تُرصد به ويتطور تطوراً **حتمياً** وفق قواعد ميكانيك الكم حتى في أثناء عملية القياس، عندئذ يحق لتيم الصغير أن يسأل: من أين تأتي الاحتمالات؟

إن عدم الرضى عن الفصل المصطنع بين المنظومة ورصادها، في تفسير كوبنهاغن، قد أفضى إلى وجهة نظر أخرى لدى بعض النظريين، وهي ما يسمى تفسير ميكانيك الكم **بعدة عوالم** أو **بعدة تواريخ** (مسيرات)، الذي كان هيو إيفيريت أول من اقترحه في أطروحته في برنستون. يقول هذا التفسير بأن عملية قياس «**هنا أو ـــ هناك**» في حال جسيمنا الخرافي هي نوع من التفاعل بين الجسيم وجهاز القياس، لدرجة أن تابع موجة المنظومة المركبة منهما يؤول إلى قيمتين محسوستين للوضعيتين فقط؛ إحدى القيمتين تقابل وضعية أن الجسيم **هنا** وإبرة الجهاز تتجه نحو **هنا**؛ والقيمة الأخرى تقابل إمكانية أن يكون الجسيم **هناك** وأن تشير إبرة الجهاز إلى **هناك**. ما يزال يوجد في هذا التفسير تابع موجة محدد يتولد بحتمية كاملة من تفاعل الجسيم مع جهاز القياس تفاعلاً محكوماً بقواعد ميكانيك الكم. لكن قيمتي تابع

الموجة تقابلان حالتين مختلفتين طاقياً ؛ وبما أن جهاز القياس تركيب محسوس ، غير مجهري ، يكون الفرق الطاقي كبيراً جداً ، مما يجعل تواتري هاتين القيمتين مختلفين جداً . وبذلك يكون رصد وضع الإبرة على جهاز القياس بمنزلة توليف عشوائي على هذه المحطة أو تلك من محطات الإذاعة : **محطة هنا ومحطة هناك** ، وطالما ظل تواترا البث مختلفين جداً لا يحدث أي تداخل(*) ، فيستقبل جهاز الراديو هذه المحطة **أو** تلك ، وذلك باحتمالين متناسبين مع شدتيهما . فغياب التداخل بين قيمتي تابع الموجة يعني واقعياً أن مسيرة (تاريخ) العالم قد انشقَّت إلى مسيرتين (تاريخيتين) منفصلتين ، في إحداهما يكون الجسيم **هنا** وفي الأخرى يكون **هناك** ، وكل من هاتين المسيرتين سوف تواصل طريقها دون أن تتفاعل مع الأخرى .

يستطيع المرء بتطبيق قواعد ميكانيك الكم على مضمومة المنظومتين : الجسيم وجهاز القياس ، أن يبرهن فعلاً على أن احتمال العثور على الجسيم **هنا** ومع إبرة جهاز تشير إلى **هنا** متناسب مع مربع القيمة **هنا** لتابع موجة الجسيم في لحظة بدء تفاعل الجسيم مع جهاز القياس ، كما يفترض تفسير كوبنهاغن بالضبط . لكن هذا البرهان لا يجيب حقاً عن سؤال تيم الصغير . ذلك أننا قد حشرنا ، في حساب احتمال أن تكون مضمومة الجسيم وجهاز القياس في أية وضعية ، راصداً يقرأ الإبرة ويجد أنه يقرأ **هنا** ، أو **هناك** . ولئن كان جهاز القياس ، في هذا التحليل ، قد عومل معاملة ميكانيكية كمومية ، إلا أن الراصد قد عومل معاملة تقليدية ؛ فهو يجد أن الإبرة تشير بالتحديد سواء إلى **هنا** أم **هناك** ، بأسلوب لا يمكن أيضاً التنبؤ به إذا استثنينا الاحتمالات . ونحن نستطيع طبعاً أن نعامل الراصد كمومياً ، ولكن فقط على حساب إدخال راصد آخر وظيفته أن يستكشف نتائج الراصد الأول ، ربما من خلال قراءة مقالة في مجلة علمية . وهكذا دواليك .

لقد تعاقب عدد كبير من الفيزيائيين على مهمة تخليص أسس ميكانيك الكم من كل مقولة احتمالية وسواها من الافتراضات التأويلية التي تجلب تمييزاً بين المنظومة والراصد . والذي نحن بحاجة إليه هو نموذج ميكانيكي كمومي ذو تابع موجي لا يصف فقط منظومات متنوعة تجري دراستها ، بل ويصف أيضاً شيئاً يمثل راصداً واعياً . وبنموذج من هذا القبيل تتاح محاولة البرهان على أن تابع موجة المنظومة الأضمومة ، كنتيجة التفاعلات الراصدة **المتكررة** مع المنظومات فرادى ، يتطور بالتأكيد إلى تابع موجة نهائي أصبح الراصد فيه مقتنعاً بأن احتمالات القياسات الإفرادية هي التي يقول بها تفسير كوبنهاغن . وأنا لست على يقين من أن هذا البرنامج قد نجح بتمامه حتى الآن ، ولكنني أعتقد أنه قد ينجح في النهاية . وإذا تم ذلك تصبح واقعية سكروج مبررة تماماً .

---

* تشويش إحدى المحطتين على الأخرى . **المترجم**

إن من المدهش حقاً قلة أهمية هذا الفرق على الصعيد العملي. فمعظم الفيزيائيين يستخدمون ميكانيك الكم يومياً في حياتهم المهنية دونما حاجة إلى الاهتمام بمسألة تفسيره الأساسية. إنهم أناس مدركون أن الوقت أضيق من أن يتيح لهم تتبع الأفكار والمعطيات في مجال اختصاصهم وأنهم ليسوا بحاجة للاهتمام بهذه المسألة الأساسية، ولذلك تراهم غير مهتمين بها. وقد حدث لي، منذ سنة أو نحوها، أن التقيت فيليب كانديلاس (من قسم الفيزياء في تكساس) ونحن ننتظر المصعد، فدار حديثنا على نظري شاب كان يعِد بمستقبل لامع كطالب يحمل شهادة جامعية ثم غاب عن الأنظار. فسألت فيليب عما طرأ على بحوث هذا الطالب السابق؛ فهزَّ رأسه بحزن وقال: «لقد حاول أن يفهم ميكانيك الكم».

إن العلاقة بين استعمال ميكانيك الكم وبين تأويله الفلسفي ضعيفة لدرجة أن بدأ ينتابنا شعور بأن كل هذه الأسئلة العميقة عن معنى القياس فارغة حقاً، بأن لغتنا هي التي تجرُّنا إليها، لأنها اللغة التي تطورت في عالم تحكمه الفيزياء التقليدية حكماً شبه مباشر. ولئن كنت أعترف ممتعضاً بعض الشيء بأنني عملت طوال حياتي في إطار نظري لم يفهمه أحد قط فهماً كاملاً، إلا أننا نحتاج حقاً إلى فهم ميكانيك الكم بشكل أفضل في علم الكون الكمومي، أي في تطبيق ميكانيك الكم على العالم كله، حيث لا يمكن حتى أن نتخيل راصداً خارجياً عنه. ولئن كان العالم اليوم أكبر بكثير من أن يتيح لميكانيك الكم صنع فرق كبير، إلا أن نظرية الانفجار الأعظم تقول بوجود وقت في الماضي السحيق كانت الجسيمات فيه متجاورة معاً في حيِّز صغير جداً لدرجة أن المفعولات الكمومية كانت مهمة جداً. لكننا نجهل كلنا اليوم حتى قواعد تطبيق ميكانيك الكم في تلك الظروف.

وكقضية تبدو لي أهم من سواها أذكر مسألة ما إذا كان ميكانيك الكم صحيحاً بالضرورة. لقد أحرز ميكانيك الكم نجاحات عظيمة في تفسير خصائص الجسيمات والذرات والجزئيات، لدرجة أن نعلم أنه قريب جداً من الحقيقة. والمسألة المطروحة في هذا السياق هي أن نعلم ما إذا كان يوجد نظرية منطقية أخرى ذات نتائج قريبة جداً من نتائج ميكانيك الكم ولكن ليست مطابقة لها تماماً. إن من السهل أن نرتئي طرائق لتغيير أكثرية النظريات الفيزيائية تغييراً طفيفاً. فقانون نيوتن الثقالي مثلاً، القائل بأن القوة الثقالية بين جسيمين تتناقص كما يتناقص مقلوب مربع المسافة (لدى تزايد المسافة)، يمكن تغييره قليلاً بافتراض أن القوة تتناقص متناسبة مع أسٍّ آخر للمسافة يختلف قليلاً جداً عن مقلوب مربعها. ولاختبار نظرية نيوتن تجريبياً يمكن أن نقارن أرصاد المنظومة الشمسية مع ما نتوقعه من قوة تتناقص متناسبة مع أس مجهول للمسافة؛ وبذلك نضع حداً لمدى الفرق بين مقلوب المربع وأس المسافة الجديد. هذا حتى أن النسبية العامة يمكن أن نغيِّرها قليلاً بأن نُدخل،

مثلاً ، حدوداً صغيرة أعقد في معادلات الحقل أو حقولاً جديدة في النظرية ضعيفة التفاعل . لكن من المدهش أننا لم نتمكن حتى الآن من العثور على نظرية متماسكة منطقياً وقريبة من ميكانيك الكم ، غير ميكانيك الكم نفسه .

لقد حاولتُ ، قبل بضع سنوات ، أن أصنع نظرية من هذا القبيل . لم أكن أنوي حقاً **أن أقترح بديلاً عن ميكانيك الكم ، بل أن أجد فقط نظرية نبوءاتها قريبة من نبوءات ميكانيك الكم** دون تطابق كامل ، فتكون « زخرفة » يمكن اختبارها بالتجربة . كنتُ أحاول بهذه الطريقة أن أُعطي الفيزيائيين النظريين فكرة عن نوع التجارب التي يمكن أن تضمن اختبارات كمية لصحة ميكانيك الكم . فاختبار ميكانيك الكم نفسه ، لا إحدى النظريات الخاصة الكمومية كالنموذج المعياري ، بهدف التمييز تجريبياً بين ميكانيك الكم وبدائله ، يستلزم امتحان سمة عامة جداً لأية نظرية ميكانيكية كمومية ممكنة . وفي سبيل اختراع بديل عن ميكانيك الكم ركَّزتُ على سمة عامة من سمات ميكانيك الكم كانت تبدو على الدوام اعتباطية بعض الشيء أكثر من سواها ، ألا وهي **الخطيِّة** .

لا بد أن أُعطي هنا شرحاً موجزاً لمعنى الخطية . تذكَّر أن قيم تابع الموجة ، لأية منظومة ، تتغير بسرعة تتعلق بهذه القيم ، وكذلك بطبيعة المنظومة وما يحيط بها . فسرعة تغير القيمة **هنا** لتابع موجة جسيمنا الخرافي ، مثلاً ، تساوي عدداً ثابتاً مضروباً بالقيمة **هنا** ومضافاً إليه عدداً ثابتاً آخر مضروباً بالقيمة **هناك** . يقال عن هذه القاعدة الدينامية السائدة في هذا النوع الخاص من التغير إنها خطية لأنك ، إذا غيَّرت إحدى قيم تابع الموجة في لحظة زمنية ما ثم رسمت مخططاً بيانياً لكل قيمة من قيم تابع الموجة في كل لحظة لاحقة بدلالة القيمة التي تغيرت ، تجد عندئذ ، في حال تساوي كل العوامل الأخرى ، أن هذا البياني خط مستقيم ، وبتعبير مجازي جداً نقول إن جواب المنظومة على أي تغير في حالتها يكون متناسباً مع هذا التغير . وكنتيجة مهمة جداً لهذه الخطية نذكر قول سكروج بأن المنظومات الكمومية لا تتصرف تصرفاً شوشياً ؛ أي أن التغيير الطفيف في ظروفها البدئية لا يؤدي إلا إلى تغيير طفيف في قيم تابع الموجة في أية لحظة لاحقة .

يوجد عدة منظومات تقليدية خطية بهذا المعنى ، لكن الخطية في الفيزياء التقليدية ليست صحيحة على وجه الإطلاق . لكن المفروض في ميكانيك الكم أن يكون خطياً بالضبط في كل الظروف . فإذا خطر لك أن تفتش عن أساليب تغير ميكانيك الكم يكون من الطبيعي أن تفحص إمكانية أن لا يكون تطور تابع الموجة خطياً بالضبط والتمام .

لقد أنشأتُ ببعض الجهد بديلاً عن ميكانيك الكم فيه مقدار طفيف من اللاخطية ويتمتع بمعنى فيزيائي ويمكن اختباره بسهولة وبدقة جيدة جداً من خلال فحص نتيجة عامة

للخطية هي أن تواترات اهتزاز أي نوع من المنظومات الخطية لا يتعلق بكيفية توليد هذه الاهتزازات . وقد لاحظ غاليلو ، مثلاً ، أن تواتر تأرجح النواس لا يتعلق بمقدار انحرافه الأعظمي عن الشاقول . هذا لأن النواس منظومة خطية طالما ظلت سعة الهزات صغيرة ؛ فسرعات تغير انحرافه واندفاعه متناسبة مع اندفاعه وانحرافه بالترتيب نفسه . وكل الميقاتيات تعتمد على هذه السمة التي تتصف بها اهتزازات المنظومات الخطية ، سواء كان المهتز نواساً أو نابضاً أو بلورة من الكوارتز . وبعد حديث لي حصل منذ بضع سنوات مع ديفيد واينلاند ، من مكتب المعايير الوطني ، أدركت أن النوى الذرية المستخدمة في هذا المكتب لتعيين المعايير الزمنية تضمن اختباراً رائعاً لخطية ميكانيك الكم . كان البديل ذو اللاخطية الطفيفة الذي وجدته ينطوي على أن محور سبين (تدويم) النواة يقوم بحركة تبادر(*) حول حقل مغنطيسي يتعلق تواتره تعلقاً ضعيفاً جداً بالزاوية بين محور السبين والحقل المغنطيسي . لكن واقع أن مفعولاً كهذا لم يُلحظ قط في ذلك المكتب ينبئ فوراً بأن المفعولات اللاخطية ، إن وجدت وأياً كانت ، لا يمكن أن تسهم بأكثر من جزء من مليار مليار جزء من طاقة النواة المدروسة (أحد نظائر البيريليوم هنا) . ومنذ ذلك الوقت أُجريت تحسينات تجريبية عديدة على هذه القياسات ، في هارفارد وبرنستون ومختبرات أخرى ، تبين منها اليوم أن إسهام المفعولات اللاخطية يجب أن يكون أقل من ذلك . فخطية ميكانيك الكم ، إن كانت تقريبية ، هي تقريب جيد حقاً .

لم تكن هذه النتائج مفاجئة حقاً . إذ حتى لو كان يوجد تصحيحات لاخطية طفيفة تُدخل على ميكانيك الكم ، لا يوجد سبب يحمل على الاعتقاد بأن هذه التصحيحات من رتبة كبيرة تكفي لظهورها في الجولة الأولى من التجارب التي صُممت للبحث عنها . لكن الذي وجدته مقنطاً حقاً كان أن هذا البديل اللاخطي ، من ميكانيك الكم ، قدتبيَّن منطوياً على صعوبات نظرية داخلية بحتة . والسبب الوحيد في ذلك هو أنني لم أجد طريقة لتعميم النسخة اللاخطية من ميكانيك الكم على نظريات تستند إلى نظرية أينشتاين النسبوية الخاصة . ثم كان ، بعد نشر نتائج أعمالي ، أن بيَّن كل من غيزين ، في جنيف ، وزميلي جوزيف بولشنسكي في جامعة تكساس ، لوحده أن لا خطيات النظرية النسبوية العامة **يمكن** استغلالها ، في تجربة أينشتاين — بودولسكي — روزِن الذهنية التي ذكرها تيم الصغير ، لإرسال إشارات تقطع آنياً مسافات كبيرة ، وهي نتيجة ممنوعة بموجب النسبية الخاصة . أما أنا فقد تخليت ، في الوقت الحاضر على الأقل ، عن المسألة ؛ فأنا بكل بساطة لا أدري كيف أُغيِّر ميكانيك الكم تغييراً طفيفاً دون أن أُفسده برمته .

★ Precession : حركة يدور فيها محور الدوامة (النواة الذرية هنا) حول محور آخر (الحقل المغنطيسي هنا في نقطة وجود النواة) بحيث تظل الزاوية بين المحورين ثابتة القيمة . **المترجم**

إن هذا الفشل النظري في العثور على بديل معقول من ميكانيك الكم، ولو بمعقولية أفضل من التحقق التجريبي الدقيق لخطيته، يوحي لي بأن ميكانيك الكم هو كما هو لأن أي تغيير طفيف فيه لابد أن يقود إلى تناقضات منطقية. وإذا صح هذا القول ربما يظل ميكانيك الكم على الدوام جزءاً من الفيزياء. والحقيقة أن ميكانيك الكم قد يدوم، لا كمجرد نظرية قريبة من حقيقة أعمق، على شاكلة نظرية نيوتن الثقالية كنظرية تقريبية لنظرية أينشتاين النسبوية العامة، بل كسمة دقيقة صحيحة من سمات النظرية النهائية.

الفصل الخامس

حكايات النظرية والتجربة

عندما نتقدم في العمر يصبح العالم أغرب، والصورة أعقد صورة الميت والحي، لاالوقت الراهن المعزول دون قبل ولابعد، بل حياة متقدة في كل آن.

T.S. Eliot, East Coker

أريد الآن أن أحكي ثلاث قصص عن تقدم الفيزياء في القرن العشرين. ومن هذه الحكايات تبرز حقيقة تثير الاستغراب، وهي أن الفيزيائيين كانوا باستمرار يسترشدون بإحساسهم الجمالي، لا في إنشاء نظريات جديدة فحسب، بل وفي حكمهم على صحتها إبان تطويرها. ويبدو أننا تعلمنا كيف نستشعر جمال الطبيعة في أعمق مستوياتها. ولا شيء يمكن أن يكون أكثر تشجيعاً لنا من أننا نتحرك فعلاً نحو اكتشاف القوانين النهائية للطبيعة.

* * * * *

حكايتي الأولى ذات صلة بنظرية النسبية العامة، نظرية أينشتاين في الثقالة. فقد طور هذه النظرية بين عامي ١٩٠٧ و١٩١٥ ثم قدمها إلى الناس في سلسلة من النشرات في ١٩١٥ ــ ١٩١٦. وبإيجاز شديد نقول: بدلاً من صورة نيوتن الثقالية، صورة تجاذب بين كل الأجسام الكتلوية، جاءت النسبية العامة لتصِف الثقالة بأنها مفعول انحناء الزمكان بوجود مادة وطاقة، على حد سواء، فيه. وفي أواسط العشرينيات أصبحت هذه النظرية الثورية مقبولة عموماً كنظرية صحيحة في الثقالة، وهي مكانة ما تزال تحتفظ بها منذئذ. فكيف حدث ذلك؟

لقد تبين أينشتاين فوراً عام ١٩١٥ أن نظريته تحل اختلافاً قديماً بين نتائج رصد المنظومة الشمسية وبين المحسوبات بنظرية نيوتن. فقد كان يوجد منذ عام ١٨٥٩ صعوبة في فهم مدار الكوكب عطارد ضمن إطار نظرية نيوتن. فنظريته هذه وميكانيكه يقضيان بأن الكوكب، إذا كان وحيداً مع الشمس في هذا العالم، لا بد أن يرسم بحركته مداراً إهليلجياً

(قطعاً ناقصاً) مثالياً تحتل الشمس أحد محرقيه . ويجب على اتجاه الإهليلج (اتجاهي محوريه الكبير والصغير) أن لا يتغير بتاتاً وأبداً . أي أن مدار الكوكب يجب أن يظل ثابتاً في مكانه من الفضاء . لكن المنظومة الشمسية تضم في الواقع كواكب أخرى تشوش قليلاً حقل الشمس الثقالي ، كما أن المدارات الإهليلجية لكل الكواكب لها بالفعل حركات تبادر ؛ وهذا يعني أن المدارات تتأرجح ببطء في الفضاء . وفي القرن التاسع عشر صار معروفاً أن مدار عطارد يغيِّر اتجاهه بحوالي ٥٧٥ ثانية قوسية في القرن الواحد (الدرجة القوسية تساوي ٣٦٠٠ ثانية) . لكن نظرية نيوتن تتنبأ بأن هذا العدد يجب أن يكون ٥٣٢ ثانية في القرن ، أي بفرق يساوي ٤٣ ثانية قوسية في القرن . وبتعبير آخر نقول : إنك إذا انتظرت ٢٢٥٠٠٠ عام فستجد أن مدار عطارد قد عاد إلى اتجاهه الأصلي بعد أن يكون قد دار دورة كاملة ، ٣٦٠ درجة ، في حين أن نظرية نيوتن تتنبأ بأن ذلك يتطلب ٢٤٤٠٠٠ عام ـــ لئن كان هذا الفرق ضئيلاً جداً إلا أنه ظل مربكاً للفلكيين أكثر من نصف قرن . وعندما فحص أينشتاين ، عام ١٩١٥ ، نتائج نظريته الجديدة وجد فوراً أنها تفسر هذا الفرق : ٤٣ ثانية في القرن ، في حال مدار عطارد . (إن أحد المفعولات التي أسهمت في هذا التبادر الإضافي ، في نظرية أينشتاين ، هو الحقل الثقالي الإضافي الناجم عن الطاقة الموجودة في الحقل الثقالي نفسه . أما في نظرية نيوتن الثقالية فالحقل ناجم عن الكتلة فقط ، لا عن الطاقة ، فلا يوجد فيها مثل ذلك الحقل الإضافي) . وقد روى أينشتاين فيما بعد أنه ظل عدة أيام منتشياً من سروره بهذا النجاح .

وبعد الحرب العالمية الأولى وضع الفلكيون نظرية النسبية العامة على محكٍّ تجربة أخرى ، وهي قياس انعطاف أشعة الضوء بفعل الشمس ، وذلك في أثناء كسوفها عام ١٩١٩ . ففوتونات الشعاع الضوئي تنعطف ، بالحقول الثقالية في نظرية أينشتاين ، كما يفعل مذنب حين يدخل مجال المنظومة الشمسية آتياً من بعيد فينعطف بالحقل الثقالي للشمس دائراً حولها وعائداً أدراجه نحو الفضاء البعيد . لكن من الواضح أن انعطاف الضوء أقل بكثير من انعطاف المذنب لأن الضوء ذو سرعة أكبر بكثير ، على غرار الانعطاف الضئيل الذي يعانيه المذنب إذا كان سريعاً جداً . وتقول النسبية العامة بأن انعطاف الشعاع الضوئي الذي يمس سطح الشمس يجب أن يساوي ١٫٧٥ ثانية قوسية (٠٫٠٠٠٥ درجة) (كان على الفلكيين أن ينتظروا كسوفاً كلياً ليتمكنوا من قياس هذا الانعطاف لأنهم يبحثون عن انحناء أشعة ضوئية آتية من نجم بعيد نحو حافة الشمس ، ومن الصعب طبعاً رؤية نجوم قريبة من قرص الشمس إذا لم يكن ضوء الشمس محجوباً بالقمر في كسوف كلي ؛ وعندئذ يقيس الفلكيون مواقع عدة نجوم على صفحة السماء قبل ستة أشهر من موعد الكسوف عندما تكون الشمس في الجهة الأخرى من السماء ، ثم ينتظرون ستة أشهر ليحدث الكسوف ،

وعندئذ يقيسون مواقع النجوم السابقة نفسها ويستنتجون مقدار انعطاف أشعة النجوم القريبة من قرص الشمس المكسوفة وذلك من انزياح مواقع هذه النجوم عما كانت في القياسات السالفة) . وقد جهز الفيزيائيون البريطانيون عام ١٩١٩ بعثتين لرصد الكسوف ، إحداهما من بلدة صغيرة في الشمال الشرقي من البرازيل ، والأخرى من جزيرة في خليج غينيا . لقد وجدوا أن انعطاف الأشعة الضوئية القادمة من عدة نجوم يساوي ، ضمن ارتيابات القياس التجريبية ، ما كان أينشتاين قد تنبأ به ، وبذلك لقيت النسبية العامة ترحيباً عالمياً واسعاً وأصبحت مدار أحاديث رجال العلم وآخرين في حفلات « الكوكتيل » .

وهكذا اتضح كيف حلت النسبية العامة محل نظرية نيوتن الثقالية . فقد فسرت النسبية العامة ذلك الشذوذ القديم الذي يشوب مدار حركة عطارد وأنبأت بنجاح عن مفعول جديد مذهل ، هو انعطاف الضوء بفعل الشمس . فهل بقي مقال لقائل ؟

إن الشذوذ في مدار عطارد وانعطاف الضوء كانا بالطبع جزءاً من القصة ، وجزءاً مهماً . ولكن ، على غرار كل شيء في تاريخ العلم (وأعتقد في تاريخ أي شيء آخر) ، تتلاشى بساطة القصة عندما ينظر إليها عن كثب أقرب .

لنفحص الاختلاف بين نظرية نيوتن وحركة عطارد المرصودة . ألم يتبين بوضوح ، حتى بدون نظرية النسبية العامة ، أن شيئاً ما كان خطأً في نظرية نيوتن الثقالية ؟ ليس بالضرورة . إن كل نظرية ، كنظرية نيوتن الثقالية ، ذات حقل تطبيق واسع ، تُبتلى دوماً بشذوذات تجريبية . ولا توجد نظرية لم تتعارض مع تجربة ما . فقد تعارضت نظرية نيوتن في المنظومة الشمسية مع عدة أرصاد فلكية على مدى تاريخها . ففي عام ١٩١٦ لم تكن هذه الاختلافات تتضمن شذوذ مدار عطارد فحسب ، بل والشذوذات التي لوحظت في حركة مذنب هالي وحركة مذنب إنْك ، وفي حركة القمر . كل هذه الأجرام أبدت تصرفاً لا يتفق مع نظرية نيوتن . ونحن نعلم اليوم أن تفسير شذوذ المذنبات والقمر ليس له علاقة البتة بأساسيات نظرية الثقالة . فالمذنبان المذكوران هنا لا يتصرفان التصرف المتوقع من الحسابات المستمدة من نظرية نيوتن ، وذلك لأننا نجهل في هذه الحسابات كيف نأخذ بعين الاعتبار الضغط الذي تسلطه الغازات الهاربة من المذنب الدوار عندما يسخن في أثناء اقترابه من الشمس . وعلى غرار ذلك تتعقد حركة القمر ، لأنه جرم كبير ويتأثر بكل أنواع قوى المد والجزر المعقدة . ومن وجهة النظر هذه ليس من الغريب أن تظهر اختلافات بين نتائج النظرية ونتائج رصد هذه الظواهر . وعلى هذه الشاكلة عُرِضت عدة اقتراحات لتفسير الشذوذ في حركة عطارد ضمن نظرية نيوتن . وأحد هذه الاقتراحات ، الذي أُخذ بعين الجد في أوائل هذا القرن ، كان يقول بإمكانية وجود شيء من المادة بين عطارد والشمس يسبب اضطراباً

طفيفاً في حقل الشمس الثقالي. وهكذا لا يوجد، في أية حالة اختلاف مفردة بين النظرية والتجربة، شيء ينهض ويلوِّح بالراية قائلاً: «إنني شذوذ مهم». ولا يوجد ما يؤكد أن أحد رجال العلم ممن نظروا، في نهايات القرن الماضي وبدايات القرن الحاضر في المعطيات التجريبية، قد استطاع أن يستنتج وجود شيء هام في أي من شذوذات المنظومة الشمسية. بل إن من شأن النظرية أن تقرر ما هي الملحوظات المهمة.

بمجرد أن وجد أينشتاين بالحساب عام ١٩١٥ أن النسبية العامة تقود، بخصوص مدار عطارد، إلى فائض تبادري يساوي القيمة الملحوظة بالرصد، ٤٣ ثانية في القرن، أصبحت هذه النتيجة قطعة هامة من البرهان على صواب نظريته. والواقع، كما سأُبيِّن فيما بعد، أنها كانت تستحق أن تؤخذ بعين الجد أكثر مما كان. ربما كان السبب تنوع الاضطرابات التي يمكن أن تصيب مدار عطارد، أو ربما كان الخوف من المصادقة على نظريات بالاستناد إلى معطيات سابقة، أو ربما كانت الحرب فقط هي السبب ـــ على كل حال، لم يكن يوجد في نجاح أينشتاين بتفسير تبادر عطارد أي شيء يضاهي مفعول التقرير الذي صدر عن بعثة كسوف الشمس عام ١٩١٩ فأكَّد نبوءة أينشتاين بخصوص انعطاف الضوء بفعل الشمس.

وهكذا دعونا الآن نعد إلى انعطاف الضوء بفعل الشمس. فبعد عام ١٩١٩ استمر الفلكيون في امتحان نبوءة أينشتاين هذه في عدة كسوفات لاحقة. فقد حدث ذلك في كسوف عام ١٩٢٢ الذي رُئي في أُستراليا؛ وفي كسوف عام ١٩٢٩ في سومطرة؛ ثم عام ١٩٣٦ في الاتحاد السوفييتي، وعام ١٩٤٧ في البرازيل. كان تحليل بعض هذه الأرصاد يبدو بالفعل متفقاً مع نظرية أينشتاين، لكن بعضها الآخر أبدى اختلافاً كبيراً معها. ورغم أن بعثة عام ١٩١٩ قد حصلت على ارتياب تجريبي قدره ١٠٪ في رصد دستة من النجوم وعلى اتفاق مع النظرية بدقة تبلغ ١٠٪ أيضاً، وجدت عدة بعثات لاحقة أنها لم تستطع بلوغ هذه الدقة بالرغم من أن عدد النجوم التي رُصدت كان أكبر. صحيح أن كسوف عام ١٩١٩ كان ملائماً جداً لهذا النوع من الأرصاد، إلا أنني أميل إلى الاعتقاد بأن بعثة عام ١٩١٩ كانت متحمسة أكثر من اللازم للنسبية العامة في تحليل معطيات الرصد.

والواقع أن بعض العلميين في ذلك العصر قد أبدوا تحفظات إزاء معطيات كسوف عام ١٩١٩. وقد أورد سفانت أرينيوس، في تقرير رفعه إلى لجنة نوبل عام ١٩٢١، عدة انتقادات للنتائج التي وردت في ذلك التقرير بخصوص انعطاف الضوء. وقد التقيتُ في القدس ذات مرة الأستاذ الكهل سَمبورسكي، الذي كان عام ١٩١٩ زميل أينشتاين في

برلين، فأخبرني أن الفلكيين والفيزيائيين في برلين كانوا غير واثقين من قدرة الفلكيين البريطانيين على بلوغ تلك الدقة فعلاً في امتحان نظرية أينشتاين.

إن هذا لا يعني الإيحاء بأن شيئاً من عدم النزاهة قد تسلل إلى هذه الأرصاد. فمن المستطاع تصور كل الارتيابات التي تخطر لك عندما تقيس انعطاف الضوء بفعل الشمس. فأنت تنظر إلى نجم يظهر على صفحة السماء قريباً من قرص الشمس وهو محجوب عنك بالقمر. وأنت تقارن موقع النجم على صفائح تصويرية مرتين مفصولتين بستة أشهر. وربما كان تسديد المقراب (التيليسكوب) قد اختلف بين هذا الوقت وذاك. وربما كانت صفيحة التصوير قد تمددت أو تقلصت في أثناء تلك الفترة؛ وهكذا. ففي كل التجارب يحتاج الأمر إلى كل أنواع التصحيحات. وفي هذا السبيل لا يدَّخر الفلكي أي جهد يمكن أن يبذله. ولكن إذا كان الراصد يعرف الجواب فلا بد أن يتأثر بميل طبيعي يدعوه إلى الاستمرار في إجراء هذه التصحيحات إلى أن يحصل على الجواب «الصحيح»، وعندئذ يوقف البحث عن تصحيحات أخرى. والواقع أن فلكيي بعثة الكسوف عام ١٩١٩ كانوا متَّهَمين بشيء من الشطط في استبعاد معطيات إحدى الصفائح التصويرية التي كانت تتعارض مع نبوءة أينشتاين، وهو تعارض عزوه إلى تغير في تسديد المقراب. ولئن كان يمكن القول الآن بأن الفلكيين البريطانيين كانوا على حق، فإنني لا أستبعد أن يكونوا قد أوقفوا البحث عن تصحيحات أخرى حين حصلوا على نتائج تتفق مع نظرية أينشتاين.

من المعتقَد عموماً أن الاختبار الحقيقي لأية نظرية يتحقق بمقارنة نبوءاتها مع النتائج التجريبية. ومع ذلك، وبفضل النظرة اللاحقة اليوم، نستطيع أن نقول الآن بأن نجاح أينشتاين، عام ١٩١٥، في تفسير ما كان قد لوحظ سابقاً من شذوذ في مدار عطارد كان اختياراً للنسبية العامة أمتن بكثير من أرصاد عام ١٩١٩ التي استهدفت التحقق من صحة حساب انعطاف الضوء بفعل الشمس في أثناء كسوفها عامئذ أو في الكسوفات اللاحقة. وهذه، في حال النسبية العامة، **مقولة راجعة**، أي حساب شذوذ معروف من قبْل في حركة عطارد؛ وهي في الواقع اختبار للنظرية أوثق من **التنبؤ** بمفعول جديد: انعطاف الضوء بالحقول الثقالية.

أعتقد أن الناس يُلحّون على أفضلية النبوءات في مجال المصادقة على النظريات العلمية، لأن موقف المعلقين العلميين التقليدي ينطوي على قلة الثقة بالنظريين. فهم يخافون من أن يعمد النظري إلى تدبير نظريته بما يجعلها تتفق مع كل الوقائع التجريبية المعروفة سلفاً؛ وهذا يجعل اتفاق النظرية مع هذه الوقائع بالذات اختباراً مشكوكاً في متانته.

ولكن رغم أن أينشتاين كان على علم بالفائض التبادري في مدار عطارد منذ عام

١٩٠٧ ، لا يمكن لأحد ، ممن يعرف شيئاً عن كيفية نشوء النسبية العامة في ذهن أينشتاين وممن يتابع بعضاً من منطقه ، أن يدَّعي أن أينشتاين قد صنع النسبية العامة كي يفسر ذلك التبادر . (وسأعود بعد قليل للحديث عن التسلسل الفعلي لأفكار أينشتاين)(*) . **والنبوءة** الناجحة هي التي يجب أن يُشك فيها غالباً . وفي حال نبوءة أينشتاين بانحناء الشعاع الضوئي بفعل الشمس ، يصح أن نقول بأن الفيزيائي النظري لا يعرف النتيجة التجريبية للنظرية التي يصنعها ؛ لكن التجريبي ، من جهة ثانية ، يعرف بالفعل النتيجة النظرية عندما ينفذ التجربة . ولكنْ ذلك يمكن أن يقود ، وقد قاد تاريخياً ، إلى منعطفات خاطئة لا يقل عددها عن عدد المقولات الراجعة الناجحة . وهنا أكرر القول بأن التجريبيين لا يزوِّرون نتائجهم . فبحسب معلوماتي لم يحدث قط تزوير صريح هام للمعطيات التجريبية في الفيزياء . لكن التجريبيين ، الذين يعرفون النتيجة التي يُفترض نظرياً أن يحصلوا عليها ، يصعب عليهم بالطبع أن يوقفوا البحث عن مصادر الأخطاء التجريبية عندما لا يحصلون على تلك النتيجة ، أو أن يستمروا عندما يحصلون عليها في البحث عن أخطاء أخرى . والدليل على صحة نزاهة التجريبيين هو أنهم لا يحصلون دوماً على ما يتوقعون .

وبإيجاز ما رويناه حتى الآن من هذه القصة نقول : لقد رأينا أن البرهان التجريبي الأول على نظرية النسبية قد اقتصر على نجاح مقولة راجعة واحدة ، هي شذوذ حركة عطارد التي على الأرجح لم تؤخذ بعين الجد الذي تستحقه ؛ ثم جاءت نبوءة المفعول الجديد : انعطاف الضوء بفعل حقل الشمس الثقالي ، التي كان لنجاحها الظاهري تأثير عظيم ، ولكن لم يكن في الواقع حاسماً كما كان يراد عموماً في ذلك الوقت ، بل كان مشوباً بالشك لدى بضعة من رجال العلم على الأقل . ولم تتوفر إلا بعد الحرب العالمية الثانية التقنيات الجديدة في الرادار وعلم الفلك الراديوي التي قادت إلى تحسين كبير في دقة هذه الاختبارات التجريبية للنسبية العامة . ونستطيع الآن أن نقول إن نبوءات النسبية العامة بخصوص انعطاف الضوء (وتأخره الزمني أيضاً) المار قرب الشمس ، وليس فقط بخصوص حركة عطارد بل وحركة الكويكب إيكاروس وسواه من الأجرام الطبيعية والمصطنعة ، قد تأكدت بارتيابات تجريبية أقل من ١٪ — إلا أن تحقيق ذلك قد استغرق وقتاً طويلاً .

ولكن برغم ضعف البرهان التجريبي المبكر على النسبية العامة أصبحت نظرية أينشتاين كتاباً تدريسياً في نظرية الثقالة معتمداً في العشرينيات واحتفظت بهذه المكانة حتى

(*) انظر كتاب أينشتاين الذي ترجمناه إلى العربية تحت عنوان « هكذا أرى العالم » (ص ٣١) ، منشورات وزارة الثقافة بدمشق . **المترجم**

الآن ، رغم أن البعثات العديدة لرصد الكسوفات الشمسية ، في العشرينيات والثلاثينيات ، قد حصلت على برهان غامض في أحسن الأحوال . وأتذكر أنني ، عندما كنت أدرس النسبية العامة في الخمسينيات قبل أن يبدأ الرادار الحديث وعلم الفلك الراديوي يعطيان برهاناً جديداً ساطعاً على هذه النظرية ، كنت أعتبرها بالبداهة نظرية شبه صحيحة . ربما كنا كلنا ساذجين ومحظوظين ، ولكنني لا أعتقد أن ذلك هو السبب الحقيقي . بل أعتقد أن القبول العام لهذه النظرية كان عائداً بمعظمه إلى جاذبية النظرية نفسها ــ بمختصر القول إلى جمالها .

كان أينشتاين يتبع في صنع النسبية العامة خطاً فكرياً يمكن أن تلتزم به الأجيال اللاحقة من الفيزيائيين الذين يريدون تكريس أنفسهم لتعلم النظرية وتستهويهم المزايا التي استهوت أينشتاين بالدرجة الأولى . ويمكن أن نعود بالقصة إلى عام ١٩٠٥ ، عام أينشتاين الذهبي . في ذلك العام ، حين كان يعمل أيضاً على صنع النظرية الكمومية في الضوء ونظرية حركة الجسيمات الصغيرة في السوائل ، ابتكر أينشتاين نظرة جديدة إلى المكان (الفضاء) والزمان تسمى اليوم نظرية النسبية الخاصة . وقد انسجمت هذه النظرية جيداً مع النظرية المعتمدة في الكهرباء والمغنطيسية : إلكتروديناميك مكسويل . تقول نسبية أينشتاين بأن الراصد المتحرك بسرعة ثابتة يرى الفواصل المكانية والزمنية والحقلين ، الكهربائي والمغنطيسي ، وقد تغيرت بسبب هذه الحركة تغيراً يحتفظ لمعادلات مكسويل بشكلها المعهود صحيحاً رغم الحركة (لا غرابة في ذلك لأن النسبية الخاصة قد صُنعت لتلبية هذا المطلب) . لكن النسبية الخاصة لم تنسجم بتاتاً مع نظرية نيوتن في الثقالة ، وذلك لسبب واحد هو أن نظرية نيوتن تقول بأن القوة الثقالية بين الشمس والكواكب تتعلق بالمسافة بين موقعيهما **في اللحظة نفسها** ؛ أما في النسبية الخاصة فلا يوجد معنى مطلق للتزامن ــ إن الراصدين المختلفين يختلفون فيما بينهم ، بحسب حركة كل منهم ، عما إذا كان حادث ما قد حدث قبل حادث آخر أم بعده أم في اللحظة نفسها .

لقد كان يوجد عدة طرائق يمكن بها ترقيع نظرية نيوتن بما يجعلها تتفق مع النسبية الخاصة ؛ وقد جرب أينشتاين واحدة منها على الأقل قبل أن يأتي إلى النسبية العامة . كانت النقطة الأساسية التي أرشدته عام ١٩٠٧ إلى النسبية العامة خاصيةً معروفة تتمتع بها الثقالة ، وهي أن قوة الثقالة متناسبة مع كتلة الجسم الذي تتسلط عليه هذه القوة . ففكر أن هذه القوة تشبه تماماً ما يسمى قوة العطالة التي تتسلط علينا عندما نتحرك بسرعة متغيرة القيمة أو الاتجاه . والقوة العطالية هي التي تدفع إلى الخلف المسافرين الجالسين على مقاعدهم عندما تبدأ الطائرة بالانطلاق على مدرج المطار . كما أن القوة النابذة التي تمنع الأرض من السقوط على الشمس هي أيضاً قوة عطالية . ونحن على الأرض لا نشعر بأي من القوتين ،

الثقالية التي تجذبنا مع الأرض نحو الشمس والنابذة الناشئة عن دوران الأرض حول الشمس، لأن كلاً منهما تعاكس الأخرى تماماً فتوازنها؛ لكن هذا التوازن يزول إذا كانت إحدى القوتين متناسبة مع كتلة الجسم الذي تتسلط عليه وكانت الأخرى غير ذلك؛ وعندئذ يمكن لبعض الأجسام أن تنفصل عن الأرض وتذهب نحو الشمس ولبعضها الآخر أن ينقذف مغادراً الأرض إلى الفضاء الخارجي بين النجوم. وإن تناسب كل من القوتين، العطالية والثقالية، مع كتلة الجسم الذي تتسلطان عليه واستقلالهما عن كل خصائص الجسم الأخرى يتيحان لنا أن نبتكر في أية نقطة من حقل ثقالي «مرجع مقارنة يسقط حراً» فلا يُشعَر فيه بأي من القوتين، الثقالية والعطالية، لأنهما تكونان عندئذ متوازنتين فيما بينهما تماماً وعلى كل الأجسام. ونحن إنما نشعر بهذه أو تلك لأننا لسنا في مرجع مقارنة يسقط حراً. فالأجسام التي تسقط حرة قرب سطح الأرض، مثلاً، تتسارع باتجاه مركز الأرض بـ ٣٢ قدماً في الثانية (٩٫٨١ متراً في مربع الثانية)، ونحن لا نشعر بالقوة الثقالية إذا اتفق لنا أن نكون في حالة سقوط نحو الأرض بهذا التسارع نفسه. ومن هذا المنطلق أنجز أينشتاين قفزة منطقية واستنتج أن القوتين، الثقالية والعطالية، هما في أعماقهما شيء واحد. وقد أطلق على هذه الفكرة اسم مبدأ التكافؤ (بين الثقالة والعطالة) وبموجب هذا المبدأ يتعين الحقل الثقالي تماماً إذا عرفنا مرجع المقارنة الساقط حراً في كل نقطة من الفضاء والزمن.

لقد أنفق أينشتاين قرابة عقد من الزمان، بعد عام ١٩٠٧، في البحث عن إطار رياضي مناسب لهذه الأفكار. وفي النهاية وجد بغيته في تشابه عميق بين دور الثقالة في الفيزياء ودور الانحناء في الهندسة. فالواقع المتمثل بأن قوة الثقالة يمكن إزالتها لبرهة قصيرة من منطقة فضائية صغيرة حول أية نقطة من حقل ثقالي، وذلك بتبني مرجع مقارنة مناسب في سقوط حر، يشبه بالضبط خاصية السطوح المنحنية، خاصية أننا نستطيع صنع خارطة تنبئ، رغم انحناء السطح، عن المسافات والاتجاهات الصحيحة في الجوار المباشر لأية نقطة نريد. إذ ليس من الممكن أن نرسم، لسطح منحنٍ، خارطة تعطي المسافات والاتجاهات الصحيحة في مداها كله؛ والخريطة التي تمثل منطقة واسعة من سطح منحنٍ هي حل وسط يشوه المسافات والاتجاهات بطريقة أو بأخرى. فالخرائط المرسومة بما يُعرف باسم إسقاط مركاتور، الشائع في خرائط الكرة الأرضية، تعطي فكرة جيدة عن المسافات والاتجاهات قرب خط الاستواء، ولكنها ذات تشوهات فظيعة قرب القطبين، فتحتل عليها جزيرة غرينلاند مثلاً أضعاف ما تستحقه. وفي هذا السياق فإن عدم وجود مرجع مقارنة، **واحد فقط**، في حالة سقوط حر وتتفانى في كل نقطة منه القوتان: الثقالية والعطالية، لهو دليل على وجودنا في حقل ثقالي.

وانطلاقاً من هذا التشابه بين الثقالة والانحناء قفز أينشتاين إلى نتيجة مفادها أن الثقالة ليست أكثر ولا أقل من مفعول ناجم عن انحناء الفضاء والزمن. ولصياغة هذه الفكرة رياضياً كان يحتاج إلى نظرية رياضية في الفضاءات المنحنية تذهب إلى أبعد من الهندسة العادية التي تعطي خصائص سطح كرتنا الأرضية ذي البعدين. كان أينشتاين أعظم فيزيائي في التاريخ منذ نيوتن؛ ولئن كان يعرف من الرياضيات ما يعرفه معظم فيزيائيي عصره، إلا أن الرياضيات لم تكن من اختصاصه. وفي النهاية وجد ضالته جاهزة في نظرية في السطوح المنحنية كان ريمان ورياضيون آخرون قد اخترعوها في القرن السابق. فأصبحت نظرية النسبية العامة، في شكلها الأخير، مجرد تفسير جديد لتلك الرياضيات الجاهزة في الفضاءات المنحنية، تفسير صيغ بلغة الثقالة **وبمعادلات حقلية** تعيِّن الانحناء الناجم عن أي مقدار من المادة والطاقة. ومما لفت النظر أن النسبية العامة قد أعطت، في حال كثافات ضعيفة وسرعات بطيئة، النتائج نفسها التي أعطتها نظرية نيوتن الثقالية، مع المفعولين الصغيرين اللذين يميزان بين النظريتين وهما تبادر مدارات الكواكب وانعطاف الضوء في الحقل الثقالي للشمس.

إن عندي أشياء أخرى، بخصوص جمال نظرية النسبية العامة، سأذكرها فيما بعد. أما في الوقت الحاضر فآمل أن أكون قد قلت ما يكفي لإعطاء القارئ شيئاً عن الشعور بجاذبية هذه الأفكار. وأعتقد أن هذه الجاذبية الأصيلة هي التي كانت السبب في احتفاظ النسبية العامة بمكانتها لدى الفيزيائيين كل هذه العقود الزمنية رغم الشكوك التي نجمت عن النتائج المحيرة التي حصلت عليها البعثات المتلاحقة لرصد الكسوفات الشمسية.

إن هذا الانطباع يتعزز عندما نفكر بالاستقبال الذي حظيت به النسبية العامة في سنواتها القليلة الأولى، **قبل** بعثة الكسوف عام ١٩١٩. والأهم من ذلك كله استقبال أينشتاين نفسه لها؛ فقد كتب على بطاقة بريدية إلى النظري الكهل، أرنولد سومر فيلد، يوم ٨ شباط (فبراير) ١٩١٦، أي قبل ثلاث سنوات من بعثة الكسوف، يقول: «بخصوص نظرية النسبية العامة سوف تقتنع بمجرد أن تنتهي من دراستها. ولذلك لن أدافع عنها ولو بكلمة واحدة». وأنا لا أملك وسيلة أعرف بها إلى أي مدى أسهم نجاح حساب تبادر فلك عطارد في إعطاء أينشتاين الثقة في النسبية العامة عام ١٩١٦؛ ولكن لا بد أن شيئاً ما قد أعطاه قبل ذلك بكثير، قبل أن يجري هذا الحساب، ما يكفي من الثقة بأفكاره القابعة في أساس النسبية العامة للاستمرار في عمله؛ وقد يكون السبب الوحيد في ذلك هو جاذبية هذه الأفكار نفسها.

يجب أن لا نبخس هذه الثقة المبكرة حقها. فتاريخ العلم مليء بنماذج علماء كانت

عندهم أفكار جيدة لم يلاحقوها في عصرهم، ومع ذلك تبين لدى سواهم فيما بعد أن الأفكار تقود إلى تقدم مهم. ومن الخطأ الشائع الظنُّ بأن رجال العلم يكرسون أنفسهم حتماً للدفاع عن أفكارهم الشخصية؛ بل غالباً ما يُخضِع العلمي الفكرة الجديدة التي كان أول من ابتكرها إلى نقد مبالغ فيه أو لا أساس له، لأن عليه أن يعمل طويلاً وبشق النفس وأن يتخلى (وهذا أهم) عن بحث آخر إذا رأى أن هذه الفكرة تستحق المتابعة حقاً.

والذي حدث حقاً هو أن بعض الفيزيائيين قد أُعجبوا بالنسبية العامة. فقد سمعتْ ثلة من الجهابذة في ألمانيا وسواها بالنسبية العامة واعتبروها، قبل بعثة كسوف ١٩١٩، واعدة ومهمة؛ ومنهم، إضافة إلى سومر فيلد في مونيخ وماكس بورن ودافيد هِلبرت في غوتنغن وهندريك لورنتس في لايدن، وقد كان أينشتاين على اتصال بهم كلهم في أثناء الحرب، بول لانجفان أيضاً في فرنسا وآرثر إيدنغتون في إنكلترا الذي حرَّض على بعثة كسوف ١٩١٩. ولا أدل على ذلك من ترشيح أينشتاين لجائزة نوبل عدة مرات منذ عام ١٩١٦. فقد رشحه في ذلك العام فيليكس إيرنهافت على نظريته في الحركة البراونية وعلى النسبية الخاصة والعامة. وفي عام ١٩١٧ رشحه هاس على النسبية العامة (مستشهداً بنجاح حساب تبادر فلك عطارد) كما رشحه إميل واربورغ على عدة إسهامات من ضمنها النسبية العامة. وتلت ذلك عدة ترشيحات للأسباب نفسها عام ١٩١٨. ثم في عام ١٩١٩ وقبل بعثة الكسوف بأربعة أشهر رشحه ماكس بلانك، أحد آباء الفيزياء الحديثة، على النسبية العامة وقال إن أينشتاين «خطا أول خطوة بعد نيوتن».

أنا لا أعني أن مجتمع الفيزيائيين العالمي كله كان مقتنعاً منذ البداية بالنسبية العامة دون تحفظ. فقد اقترحت لجنة نوبل، مثلاً، عام ١٩١٩ انتظار تقرير لجنة كسوف أيار (مايو) ١٩١٩ قبل أن تتخذ قراراً بخصوص النسبية العامة. وحتى بعد ١٩١٩ وحين نال أينشتاين جائزة نوبل لم يكن ذلك على نظرية النسبية الخاصة أو العامة بل «على خدماته في الفيزياء النظرية، وخصوصاً على اكتشافه قانون المفعول الفوتوكهربائي».

ليس من المهم حقاً إبراز الوقت الذي بلغت فيه نسبة الفيزيائيين المقتنعين بصحة النسبية العامة ٧٥٪ أو ٩٠٪ أو ٩٩٪. وليس من المهم لتقدم الفيزياء أن يُتخذ قرار بصحة نظرية ما، بل قرار بأنها تستحق أن تُحمل على محمل الجد ــ أن تُدرَّس لطلاب الدراسات العليا وأن تكتب فيها الكتب، وفوق ذلك كله أن تدخل في ميدان البحوث. وفي هذا الصدد كان الفلكيون البريطانيون (بعد أينشتاين نفسه) أوائل من ناصروها بحماس لا نظير له، وأصبحوا مقتنعين لا بأنها صحيحة، بل بأنها معقولة وجميلة بما يكفي لأن تستحق

تكريس جزء كبير من برامج بحوثهم لاختبار نبوءاتها، وهم الذين سافروا آلاف الأميال من بلدهم لرصد كسوف عام ١٩١٩. ولكن حتى قبل ذلك، قبل أن تكتمل النسبية العامة وقبل نجاح حساب تبادر مدار عطارد، كان جمال أفكار أينشتاين قد دفع إرفين فرويندليش، من مرصد برلين الملكي، إلى تشكيل بعثة تمولها شركة كروب إلى القرم لرصد كسوف عام ١٩١٤. (لقد أحبطت الحرب هذا المشروع، وقد سُجن فرويندليش لمدة قصيرة في روسيا لسوء حظه).

لم يكن استقبال النسبية العامة متعلقاً لا بمعطياتها التجريبية وحدها ولا بمزاياها (الأصيلة) وحدها، بل بنسيج متشابك من النظرية والتجربة. وقد ألححتُ على الجانب النظري لهذه القصة في مقابل الإلحاح الزائد على التجربة. ذلك أن رجال العلم ومؤرخيه قد تخلوا منذ مدة طويلة عن وجهة نظر فرانسيس بيكون القديمة، القائلة بأن الفرضيات العلمية يجب إنشاؤها من خلال رصد الطبيعة بأناة وحياد. ومن الواضح جداً أن أينشتاين لم يصنع النسبية العامة من خلال تفكره بمعطيات الأرصاد. ومع ذلك ما يزال الكثيرون يأخذون بوجهة نظر جون ميل القائلة بأننا نستطيع أن **نختبر** نظرياتنا بالرصد وحده. لكننا رأينا هنا أن قبول الأحكام الجمالية، في النسبية العامة، والمعطيات التجريبية كانا مترابطين برباط لا انفصام له.

فمن وجهة أولى كان يوجد منذ البدء كثير من المعطيات التجريبية التي تدعم النسبية العامة ــ بالتحديد أرصاد أسلوب دوران القمر حول الأرض والأرصاد التفصيلية للمنظومة الشمسية، التي تعود إلى تيخو براهي وقبله والتي كان نيوتن قد فسرها من قبل بنظريته. وهذا قد يبدو للوهلة الأولى كبرهان خاص جداً. ونحن لا نكتفي الآن للبرهان على النسبية العامة بالاستشهاد بمقولة راجعة، أي بحساب الحركات الكوكبية التي كانت مقيسة سلفاً في عصر صنع النسبية ــ نتكلم الآن عن الأرصاد الفلكية التي لم تكن فقط قد أُنجزت قبل أن ينشئ أينشتاين نظريته بل وقد كانت قد فُسرت بنظرية أخرى، نظرية نيوتن. فكيف يمكن لنبوءة ناجحة أو مقولة راجعة، بخصوص أرصاد كهذه، أن تُعدَّ نصراً للنسبية العامة؟

لفهم هذه النقطة يجب النظر عن كثب أقرب إلى نظريتي نيوتن وأينشتاين كليهما. لقد فسرت فيزياء نيوتن ظاهرياً كل ما كان قد رُصد من حركات في المنظومة الشمسية، ولكن على حساب إدخال مجموعة من افتراضات شبه اعتباطية. تأمل مثلاً في القانون القائل بأن القوة الثقالية الناجمة عن جسم ما تتناقص كما يتناقص مقلوب مربع البعد عن الجسم. وفي نظرية نيوتن لا يوجد أي شيء يدعو إجبارياً إلى قبول قانون مقلوب المربع. بل إن نيوتن قد وضع هذا القانون كي يفسر الوقائع المعروفة آنذاك عن المنظومة الشمسية، كالعلاقة التي

وجدها كبلر بين اتساع المدارات الكوكبية وبين الزمن (السنة الكوكبية) الذي تستغرقه الكواكب في دورة واحدة حول الشمس. ولولا هذه الوقائع الرصدية لأمكن أن يوضع بدلاً من مقلوب المربع، في قانون نيوتن، مقلوب المكعب أو مقلوب الأسِّ ٢,٠١، دون أن يتغير شيء في الإطار الفكري للنظرية، بل قد يقتصر الأمر على تغيير طفيف في بعض التفاصيل. في حين أن نظرية أينشتاين كانت أقل اعتباطية بكثير، بل وأكثر صلابة بكثير. لأن النسبية العامة **تتطلب**، في حال أجسام بطيئة الحركة في حقل ثقالي ضعيف يصح أن نتكلم فيه عن قوة ثقالية عادية، وجوب أن تتناقص القوة وفق قانون مقلوب المربع. فليس من الممكن في النسبية العامة تدبير النظرية، بحيث لا تعطي سوى قانون مقلوب المربع، دون أن نخرق الافتراضات الأساسية للنظرية.

وكشيء آخر ألحَّ عليه أينشتاين بصورة خاصة في كتاباته نذكر أن التناسب بين قوة الثقالة على جسم صغير وبين كتلة هذا الجسم، دون أية علاقة أخرى بأية خاصية أخرى للجسم، يبدو اعتباطياً بعض الشيء في نظرية نيوتن. إذ كان يمكن لقوة الثقالة في هذه النظرية أن تتعلق مثلاً بحجم الجسم أو بشكله أو بتركيبه الكيميائي دون أن يُفسد ذلك أساس النظرية الفكري. أما في نظرية أينشتاين فالقوة التي تسلطها الثقالة على أي جسم **يجب** أن تتمتع بهاتين الخاصيتين: التناسب مع كتلة الجسم والاستقلال عن أي شيء آخر من خصائصه(*)؛ ولو كان ذلك غير صحيح لاختلفت طريقة التوازن بين قوة الثقالة وقوة العطالة باختلاف الأجسام ولما أمكن الكلام عن سقوط حر لمرجع مقارنة لا يتأثر فيه أي جسم بالمفعولات الثقالية. ومن شأن ذلك أن يستبعد تفسير الثقالة بمفعول هندسي يتجلى بشكل انحناء يطرأ على الزمكان. وهكذا يتضح مرة أخرى أن نظرية أينشتاين ذات متانة غير موجودة في نظرية نيوتن؛ ولهذا السبب كان يحق لأينشتاين أن يشعر بأنه فسر الحركات العادية في المنظومة الشمسية تفسيراً أفضل من تفسير نيوتن.

لكن من الصعب جداً، مع الأسف، أن نكتفي كلياً بفكرة المتانة في النظريات الفيزيائية. فنيوتن وأينشتاين كلاهما كانا يعرفان السمات العامة للحركية الكوكبية قبل أن يصوغا نظريتيهما؛ وكان أينشتاين يعرف أن عليه أن يجد شيئاً يشبه قانون مقلوب المربع في القوة الثقالية كي تحظى نظريته بالنجاحات التي أحرزتها نظرية نيوتن. وكان يعرف أيضاً أن عليه أن يتوصل إلى قوة ثقالية متناسبة مع الكتلة. ونحن بعد حدوث ذلك بالفعل، وحين

* بدقيق الكلام، هذا صحيح فقط في حال الأجسام الصغيرة المتحركة ببطء. أما من أجل جسم سريع الحركة فتتعلق قوة الثقالة أيضاً باندفاعه. وهذا هو السبب في أن حقل الشمس الثقالي قادر على حني الأشعة الضوئية، وهي ذات اندفاع وليس لها كتلة.

رأينا النظرية برمتها بعد الانتهاء من صنعها، نستطيع أن نقول بأن نظرية أينشتاين قد بررت قانون مقلوب المربع أو تناسب القوة الثقالية مع الكتلة ـــ إن حكمنا لصالحها يعني بالضبط أننا، لو أمكن تعديلها بما يتيح الحصول على بديل من قانون مقلوب المربع أو على عدم تناسب القوة الثقالية مع الكتلة، كنا سنرى فيها شيئاً أصعب مما يمكن قبوله. وهكذا نحمل في أعماقنا على الدوام مشاعرنا الجمالية وإرثنا النظري كله حين نحكم على مضامين المعطيات الرصدية.

* * * * *

إن حكايتي الثانية تتناول الإلكترودیناميك (التحريك الكهربائي) الكمومي ـــ النظرية الميكانيكية الكمومية في الإلكترونات والضوء. إنها بمعنى ما الصورة المرآتية للحكاية الأولى. فقد ظلت النسبية العامة مدة أربعين عاماً مقبولة عموماً كنظرية صحيحة في الثقالة رغم ضعف البرهان عليها، لأن النظرية كانت مغرية بجمالها. وفي الطرف الآخر كان الإلكترودیناميك الكمومي مدعوماً منذ البداية بالكثير من المعطيات التجريبية ولكنه كان مشوباً بنظرة شك لمدة عشرين عاماً بسبب تناقض نظري داخلي كان يبدو أن حله غير ممكن إلا بطريقة مستهجنة.

كان ميكانيك الكم قد طُبق على الحقلين الكهربائي والمغنطيسي، في واحدة من أوائل النشرات في هذا الميكانيك بتوقيع ماكس بورن وهايزنبرغ وباسكوال جوردان عام ١٩٢٦. فقد استطاع هؤلاء الثلاثة أن يبرهنوا بالحساب على أن طاقة هذين الحقلين في الشعاع الضوئي تأتي على شكل رزم تتصرف كجسيمات، مما يبرر إدخال أينشتاين لفكرة جسيمات الضوء المعروفة باسم فوتونات عام ١٩٠٥. أما الدعم الأساسي الآخر للإلكترودیناميك الكمومي فقد أعطاه بول ديراك عام ١٩٢٨. كانت نظرية ديراك بشكلها الأصلي تبين كيفية صياغة أوصاف الإلكترونات كمومياً بلغة توابع موجة تنسجم مع نظرية النسبية الخاصة. كان من أهم نتائج نظرية ديراك أن لكل نوع من الجسيمات المشحونة بالكهرباء كالإلكترون نوعاً جسيمياً آخر له الكتلة نفسها ولكن بشحنة معاكسة، ويُعرف اليوم باسم الجسيم المضاد. وفي عام ١٩٣٢ اكتُشف الجسيم المضاد للإلكترون ويسمى اليوم بوزترون. وقد استُعمل الإلكترودیناميك الكمومي في أواخر العشرينيات وأوائل الثلاثينيات لحساب تشكيلة كبيرة من العمليات الفيزيائية (كانعطاف الفوتون لدى اصطدامه بإلكترون، وانعطاف إلكترون بإلكترون، وتفاني الإلكترون مع البوزترون أو إنتاجهما معاً)، فكانت النتائج على اتفاق جيد عموما مع التجربة.

ومع ذلك أصبح من الحكمة الشائعة في أواسط الثلاثينيات أن لا يُعتبر الإلكتروديناميك الكمومي إلا كنظرية تقريبية لا تصح إلا في تناول الفوتونات والإلكترونات والبوزترونات ذات الطاقة الضعيفة . لم تكن المشكلة من النوع الذي يظهر عادة في سوابق العلم الشائعة ، أي كتعارض بين التوقعات النظرية والنتائج التجريبية ، بل أقرب إلى تناقض دائم ضمن النظرية الفيزيائية نفسها . تناقض اسمه مسألة اللانهائيات .

لقد لاحظ هذه المسألة بأشكال عديدة هايزنبرغ وباولي والفيزيائي السويدي إيفار والر ؛ لكنها ظهرت بشكل أوضح وأخطر في نشرة كتبها النظري الأمريكي الشاب روبرت أوبنهايمر عام ١٩٣٠ . كان هذا الفيزيائي يحاول استخدام الإلكتروديناميك الكمومي لحساب مفعول رهيف على طاقات الذرات . إن الإلكترون في الذرة يمكن أن يُصدر فوتوناً ويظل في مداره لمدة ما ، ثم يُمتص هذا الفوتون من جديد ، كلاعب كرة القدم يركل الكرة إلى الأمام ويستردها من جديد . والفوتون لا يغادر الذرة بتاتاً ويُشعِر بوجوده بشكل غير مباشر عبر مفعولاته على خصائص الذرة ، كطاقتها وحقلها المغنطيسي . (يقال عن هذه الفوتونات إنها **وهمية**) . وبموجب قواعد الإلكتروديناميك الكمومي تولِّد هذه العملية انزياحاً ، في طاقة الحالة الذرية ، يمكن حسابه بجمع عدد لا نهائي من الإسهامات معاً ، إسهاماً واحداً لكل قيمة طاقية متاحة يمكن إعطاؤها للفوتون الوهمي بدون حدود تُفرض على طاقته . وبما أن هذا المجموع يحوي إسهامات من فوتونات ذات طاقات عالية غير محدودة ، وجد أوبنهايمر في حساباته أن هذا المجموع يتخذ قيمة لا نهائية الكبر معناها أن انزياح طاقة الذرة لا نهائي الكبر(★) . والطاقة العالية تعني طول موجة قصير ؛ ولما كان الضوء فوق البنفسجي ذا طول موجة أقصر من طول موجة الضوء المرئي أصبح هذا الانزياح اللانهائي يُعرف باسم كارثة فوق البنفسجي .

وفيما بقي من الثلاثينيات وفي أوائل الأربعينيات حصل إجماع لدى الفيزيائيين على أن ظهور كارثة فوق البنفسجي في حساب أوبنهايمر والحسابات التي تشبهه يدل على أن النظرية الحالية في الإلكترونات والفوتونات لا يمكن الوثوق بها من أجل جسيمات تزيد طاقتها عن بضعة ملايين فولت . وكان أوبنهايمر نفسه في مقدمة أنصار وجهة النظر هذه . ويعود بعض السبب إلى أن أوبنهايمر كان من القادة في دراسة الأشعة الكونية ، تلك الجسيمات العالية الطاقة التي تخترق جو الأرض قادمة من الفضاء الخارجي ؛ وقد تبين له من دراسة طريقة

★ ليس كل مجموع عدد لا نهائي من الأعداد لا نهائياً . فرغم أن المجموع ١ + ١/٢ + ١/٣ + ١/٤ +... هو مجموع لا نهائي الكبر ، يتبين أن المجموع ١ + ١/٢ + ١/٤ + ١/٨ + ... له قيمة محددة تبلغ ٢ .

تفاعل هذه الجسيمات مع جو الأرض أن شيئاً عجيباً يؤثر في الجسيمات العالية الطاقة. كان ذلك شيئاً واقعياً، ولكنه لم يكن ذا صلة بأي انتهاك للنظرية الكمومية في الإلكترونات والفوتونات؛ بل كان دليلاً على تولُّد جسيمات من أنواع أخرى، هي التي نسميها اليوم ميونات. ولكن حتى بعد أن اتضح ذلك باكتشاف الميونات عام ١٩٣٧ ظل الاعتقاد الحكيم سائداً بأن في الإلكتروديناميك الكمومي شيئاً خاطئاً عندما نطبقه على إلكترونات وفوتونات عالية الطاقة.

كان يمكن حل مسألة اللانهائيات «بقوة القانون»، أي أن يُفترض بكل بساطة أن الإلكترونات لا يمكن أن تُصدِر أو تمتص سوى فوتونات ذات طاقة أقل من حد علوي. والواقع أن كل النجاح الذي أحرزه الإلكتروديناميك الكمومي في الثلاثينيات في تفسير تفاعل الإلكترونات والفوتونات كان في حال فوتونات منخفضة الطاقة، مما أمكن معه حماية هذه النجاحات بافتراض أن هذا الحد العلوي لطاقة الفوتونات كبير بشكل كافٍ، يصل إلى عشرة ملايين فولت مثلاً. وبهذا النوع من الشرط المفروض على طاقات الفوتونات الوهمية يصبح الإلكتروديناميك الكمومي قادراً على التنبؤ بانزياحات طاقية صغيرة جداً تطرأ على الذرات، ولكن لم يقم أحد في ذلك الوقت بقياس طاقات الذرات بدقة تكفي لمعرفة ما إذا كان هذا الانزياح الطاقي الصغير جداً موجوداً بالفعل؛ ولذلك لم يكن يوجد مجال للاختلاف مع التجربة. (الواقع أن النظرة للإلكتروديناميك الكمومي كانت متشائمة لدرجة أن لم يحاول أحد أن يحسب ولو قيمة الانزياح الطاقي المتوجبة). لم يكن المزعج في هذا الحل لمسألة اللانهائيات أنه يتعارض مع التجربة بل لأنه كان اعتباطياً جداً وقبيحاً.

كانت أدبيات الفيزياء في الثلاثينيات والأربعينيات تعجُّ بالحلول الأخرى المستهجنة لمسألة اللانهائيات، بما فيها نظريات كان فيها اللانهائي الناجم عن إصدار الفوتونات العالية الطاقة وامتصاصها ملغياً بعمليات أخرى ذات احتمال سالب. ومفهوم الاحتمال السالب لا معنى له طبعاً؛ فكان إدخاله في الفيزياء دليلاً على الشعور باليأس من حل مسألة اللانهائيات.

وفي النهاية كان الحل الذي جاء في نهاية الأربعينيات طبيعياً أكثر بكثير من سواه وأقل ثورية. فقد بلغت هذه المسألة ذروة حدتها في بداية حزيران (يونيو) ١٩٤٧ في مؤتمر انعقد على جزيرة بالقرب من لونغ آيلاند. كان الهدف من عقد هذا المؤتمر جمع الفيزيائيين الذين كانوا جاهزين بعد الحرب لاستئناف التفكير بالمسائل الأساسية للفيزياء. فكان أهم مؤتمر فيزيائي منذ مؤتمر سُلفي في بروكسل الذي شهد قبل خمسين عاماً معركة حامية بين أينشتاين وبور بخصوص مستقبل ميكانيك الكم.

كان من جملة أعضاء مؤتمر ١٩٤٧ فيزيائي شاب من جامعة كاليفورنيا اسمه ويليس لامب . كان هذا الشاب قد نجح ، بفضل استخدام إحدى تقانات الأمواج المكروية الرادارية التي طُوِّرت في أثناء الحرب ، في إجراء قياس دقيق للمفعول الذي حاول أوبنهايمر حسابه عام ١٩٣٠ ، وهو انزياح طاقي يطرأ على ذرة الهدروجين من جراء إصدار الفوتون وإعادة امتصاصه . وقد عُرف هذا الانزياح منذئذ باسم انزياح لامب . لم يكن هذا القياس بحد ذاته ذا أثر البتة في حل مسألة اللانهائيات ولكنه أجبر الفيزيائيين على العودة إلى الاضطلاع بهذه المسألة كي يحسبوا حساب القيمة المقيسة لانزياح لامب . فكان من شأن الحل الذي وجدوه أن تحكم في مسيرة الفيزياء منذ ذلك التاريخ .

كان عدة فيزيائيين ممن حضروا هذا المؤتمر قد سمعوا لتوِّهم بنتيجة قياس لامب وجاؤوا إلى المؤتمر مسلحين بفكرة عن كيفية حساب انزياح لامب باستخدام مبادئ الإلكتروديناميك الكمومي رغم مسألة اللانهائيات . كانوا يستندون إلى أن الانزياح في طاقة الذرة والمعزو إلى إصدار الفوتونات وامتصاصها ليس هو المقدار الذي يمكن رصده ؛ بل إن المقدار الوحيد الذي يمكن رصده هو الطاقة الكلية للذرة وهي التي تُحسب بإضافة هذا الانزياح الطاقي إلى الطاقة التي حسبها ديراك عام ١٩٢٨ . وهذه الطاقة الكلية تتعلق **بالكتلة العزلاء والشحنة العزلاء** للإلكترون ، وهما الكتلة والشحنة اللتان تظهران في معادلات النظرية قبل أن نبدأ الاهتمام بإصدار الفوتونات وامتصاصها . لكن الإلكترونات الحرة والإلكترونات في الذرة ، على حد سواء ، هي دوماً بصدد إصدار وامتصاص فوتونات تؤثر في كتلة الإلكترون وشحنته ، مما يعني أن الكتلة العزلاء والشحنة العزلاء للإلكترون ليستا بالضبط الكتلة والشحنة المقيستين الواردتين في جداول الجسيمات العنصرية . فلكي نحصل على القيمتين المرصودتين (وهما محدودتان طبعاً) لكتلة الإلكترون وشحنته يجب أن تكون الكتلة العزلاء والشحنة العزلاء نفسيهما لا نهائيتين . وبذلك تكون الطاقة الكلية للذرة مجموع حدين ، كلاهما لا نهائي : الطاقة العزلاء التي تكون لا نهائية لأنها تتعلق بالكتلة العزلاء والشحنة العزلاء اللانهائيتين ، والانزياح الطاقي الذي حسبه أوبنهايمر يكون لا نهائياً لأنه مجموع إسهامات آتية من فوتونات وهمية ذات طاقة غير محدودة . فهل يمكن لهاتين القيمتين اللانهائيتين أن تتعاكسا وأن يخرج من مجموعهما طاقة كلية محدودة ؟

إن الجواب يبدو للوهلة الأولى كلمة كلا محبطة . لكن إوبنهايمر كان قد ترك شيئاً خارج حسابه . ذلك أن الانزياح الطاقي لا تسهم فيه فقط الإصدارات والامتصاصات الفوتونية التي يقوم بها الإلكترون بل والعمليات التي ينبثق فيها تلقائياً بوزترون أو فوتون أو إلكترون ثانٍ من الفضاء الخالي انبثاقاً يصحبه امتصاص هذا الفوتون في تفاني البوزترون مع

الإلكترون الأصلي . وفي الحقيقة **يجب** إدخال هذه العملية الغريبة في الحساب كي يمكن الحصول على جواب نهائي ، بخصوص طاقة الذرة ، يتعلق بسرعة الذرة ، بمقتضى نظرية النسبية الخاصة . (هذا مثال على النتيجة التي وجدها ديراك قبل ذلك بكثير ، وهي أن نظرية الإلكترون الميكانيكية الكمومية لا تتفق مع النسبية الخاصة إلا إذا كانت نظرية الإلكترون تحوي البوزترون أيضاً ، الجسيم المضاد للإلكترون) . وكان أحد النظريين الذين حضروا مؤتمر شيلتر أيلاند ، واسمه فكتور فايسكوبف ، قد حسب عام ١٩٣٦ الانزياح الطاقي الناجم عن هذه العملية البوزترونية ووجد أنها تعاكس تقريباً اللانهائي الذي وجده أوبنهايمر(*) . ولم يكن من الصعب جداً أن نتوقع اختفاء اللانهائيات كلها دفعة واحدة من الانزياحات الطاقية إذا أخذنا في الحسبان العملية البوزترونية **وكذلك** الفرق بين الكتلة العزلاء والشحنة العزلاء وبين قيمتيهما المرصودتين .

وبالرغم من حضور أوبنهايمر وفايسكوبف في مؤتمر شيلتر أيلاند كان هناك أول نظري حسب انزياح لامب ، وهو هنس بيث الذي اشتُهر من قبل بعمله في الفيزياء النووية ، بما في ذلك الشرح الذي قدمه في الثلاثينيات لسلاسل التفاعلات النووية التي تسبب ضوء النجوم ؛ فبالاستناد إلى الأفكار التي كانت تحوم في جو المؤتمر صاغ بيث ، على متن القطار الذي عاد به من المؤتمر ، حساباً أولياً للانزياح الطاقي الذي قاسه لامب . كان ما يزال لا يملك تقنيات جاهزة فعالة لإدخال البوزترونات وسواها من المفعولات النسبوية الخاصة في هذا النوع من الحسابات ، وكان عمله في القطار يسير تقريباً على خطا أوبنهايمر الأقدم بسبعة عشر عاماً . كان الفرق هو أن بيث صار ، عندما يصادف لا نهائياً ما ، يُسقط إسهامات الفوتونات العالية الطاقية ، الصادرة والممتصة ، في الانزياح الطاقي (لقد وضع بيث ، بشكل شبه اعتباطي ، حداً علوياً لطاقة الفوتونات يساوي الطاقة الكتلوية للإلكترون) ، فحصل بذلك على قيمة محدودة متفقة جيداً مع نتيجة قياس لامب . ولئن كان باستطاعة أوبنهايمر أن يجري حساباً من هذا القبيل ، إلا أنه كان بحاجة ماسة إلى تجربة يجب تفسيرها وإلى الأفكار المشجعة التي طُرحت في المؤتمر لاتباع طرائق كهذه في إنجاز الحساب .

وسرعان ما تمكن الفيزيائيون من إنجاز حسابات أكثر دقة لانزياح لامب تأخذ بالاعتبار البوزترونات والمفعولات النسبوية الأخرى . لم تكن أهمية هذه الحسابات تنبع بمعظمها

★ وبكلام أدق نقول : إن إدخال هذه العملية البوزترونية يجعل مجموع الطاقات يتصرف تصرف السلسلة ١ + $\frac{١}{٢}$ + $\frac{١}{٣}$ +... بدلاً من تصرف السلسلة ١ + ٢ + ٣ + ٤ +... فكلا المجموعين لا نهائي ، لكن أحدهما أقل لا نهائية من الآخر ، بمعنى أنه يتطلب جهداً أقل لمعرفة ما نفعل إزاءه .

من الحصول على نتيجة أدق، بل من تذليل مسألة اللانهائيات؛ أصبحت اللانهائيات تتنافى فيما بينها دون اللجوء اعتباطياً إلى استبعاد إسهامات الفوتونات الوهمية العالية الطاقة.

يقول نيتشه: «إن ما لا يقتلك يجعلك أقوى». وقد كادت مسألة اللانهائيات أن تقتل الإلكتروديناميك الكمومي لولا أن أنقذته فكرة تنافيها فيما بينها بفضل تعديل تعريف كتلة الإلكترون وشحنته، وهو ما يعرف اليوم باسم **إعادة الاستنظام** renormalization. لكن من الضروري، في سبيل حل مسألة اللانهائيات بهذه الطريقة، أن تظهر اللانهائيات في حسابات تتبع فقط طرائق محدودة العدد جداً، وهذه فقط حال صنف محدود من نظريات حقلية كمومية بسيطة بشكل خاص. ويقال عن مثل هذه النظريات إنها قابلة **لإعادة الاستنظام**. فأبسط نسخة من الإلكتروديناميك الكمومي قابلةٌ لإعادة الاستنظام بهذا المعنى، لكن أي تغيير صغير في هذه النظرية من شأنه أن يعطب هذه الخاصية ويقود إلى نظرية ذات لا نهائيات لا يمكن أن تتنافى بإعادة تعريف ثوابت النظرية. وهكذا لم تكن هذه النظرية مرضية رياضياً فحسب وعلى اتفاق مع التجربة، بل ويبدو أنها تنطوي في أحشائها على تفسير سبب كونها كما هي؛ أي أن أقل تغيير فيها سوف يقود لا إلى اختلافها مع التجربة فحسب، بل وإلى نتائج غير معقوله بتاتاً ــ أجوبة لا نهائية عن أسئلة يمكن استشعار نتائجها بالتجربة.

إن حسابات عام ١٩٤٨ لانزياح لامب ما تزال معقدة جداً لأنها، رغم احتوائها اليوم على البوزترونات، كانت تعطي هذا الانزياح كمجموع حدود يخرق كل منها نظرية النسبية الخاصة، ولا نحصل إلا في نهاية الجمع على اتفاق مع هذه النظرية. وبمرور الوقت طوَّر كل من رتشارد فاينمان وجوليان شوينغر وسينيتيرو وتوموناغا، كل لوحده، طرائق حساب أبسط بكثير تتفق مع نظرية النسبية في كل خطوة. واستخدموا هذه الطريقة لإجراء حسابات أخرى اتفق بعضها مع التجربة اتفاقاً مدهشاً. فللإلكترون مثلاً حقل مغنطيسي صغير كان ديراك قد حسبه عام ١٩٢٨ على أساس نظريته النسبوية الكمومية في الإلكترون. وفور انفضاض مؤتمر شيلتر آيلاند نشر شوينغر نتائج حساب تقريبي لانزياح في شدة الحقل المغنطيسي للإلكترون ناجم عن عمليات فيها إصدار فوتونات وهمية وامتصاصها. ومنذئذ استمر تحسين الدقة في هذا الحساب، وترافق ذلك مع تحسين الدقة في النتائج التجريبية لقياس الحقل المغنطيسي للإلكترون وتبين اليوم أنه يزداد بنسبة ١٫٠٠١١٥٩٦٥٢١٤ (بارتياب قدره ٣ في الرقم العشري الأخير)، من جراء إصدار الفوتونات واستردادها ومفعولات أخرى مماثلة، زيادة على نبوءة ديراك القديمة التي كانت تجهل هذه الظاهرة. وبالتزامن تقريباً مع حسابات شوينغر كان رابي وفريقه يُجرون في جامعة كولومبيا تجارب

كشفت أن الحقل المغنطيسي للإلكترون أشد قليلاً من قيمة ديراك القديمة وبالنسبة التي حسبها شوينغر بالضبط تقريباً . ومن قياس تجريبي حديث تبين أن هذه النسبة تساوي ١٫٠٠١١٥٩٦٥٢١٨٨ بارتياب قدره ٤ في الرقم العشري الأخير . وهذا الاتفاق العددي بين النظرية والتجربة يُعدُّ من أدهش ما حصل في تاريخ العلم كله .

ليس من العجب ، بعد هذه النجاحات ، أن يصبح الإلكتروديناميك الكمومي بأبسط نسخته القابلة لإعادة الاستنظام مقبولاً عموماً كأصح نظرية في الفوتونات والإلكترونات . ومع ذلك ، ورغم النجاح التجريبي لهذه النظرية وتنافي اللانهائيات لدى التعامل معها بالشكل الصحيح ، ما زال ظهور هذه اللانهائيات يثير التذمر من الإلكتروديناميك الكمومي والنظريات المماثلة له . فديراك خصوصاً ظل يرى في إعادة الاستنظام عملية كنس للانهائيات إلى تحت البساط . وأنا لا أتفق مع ديراك ، وقد ناقشتُ معه هذه النقطة في مؤتمرين انعقدا في كورال غيبلز وعلى بحيرة كونستانس . فالفرق بين شحنة وكتلة الإلكترون العزلائين وبين قيمتيهما المقيستين ليس مجرد حيلة مخترعة للتخلص من اللانهائيات ، بل هو شيء يجب أخذه في الحسبان حتى ولو كان كل شيء محدوداً . ولا يوجد في هذا الإجراء أي شيء اعتباطي أو مختَرَع ليناسب مقتضى الحال ؛ بل هو حقاً تعريف صحيح لما نقيسه فعلاً في عمليات القياس المخبرية لكتلة الإلكترون وشحنته . وأنا لا أرى ما هو الشيء الفظيع بخصوص لا نهائية الكتلة والشحنة العزلائين ما دمنا نجد في النهاية كميات فيزيائية محدودة وواضحة ومتفقة مع التجربة . وقد بدا لي أن كل نظرية تحرز من النجاح المدهش ما أحرزه الإلكتروديناميك الكمومي لا بد أن تكون قريبة من الحقيقة ، حتى ولو لم نتمكن من صياغتها بالشكل الصحيح بالضبط . لكن ديراك لم يأبه لهذه الحجج . ولئن كنتُ لا أوافقه على موقفه فإنني لا أعتقد أنه كان عناداً لا مبرر له ؛ فالتمسك بمطلب نظرية محدودة تماماً يشبه المطالبة باعتبارات جمالية أخرى يسعى الفيزيائيون النظريون دوماً إلى تحقيقها(*) .

* * * * *

إن حكايتي الثالثة تتناول إنشاء النظرية الحديثة في القوة النووية الضعيفة وأسباب قبولها نهائياً . إن هذه القوة ليست بأهمية أي من القوى الثلاث الشائعة في الحياة اليومية : الكهربائية أو المغنطيسية أو الثقالية ، ولكن لها وظيفة مهمة في سلاسل التفاعلات النووية التي تولِّد الطاقة في إنتاج شتى العناصر الكيميائية في باطن النجوم .

---

* كان ديراك يؤمن إيماناً عميقاً بأن جمال النظرية عامل مهم من عوامل إمكانية صحتها . **المترجم**

لقد ظهرت القوة النووية الضعيفة أول الأمر في اكتشاف النشاط الإشعاعي على يدي هنري بيكريل عام ١٨٩٦ . وفي الثلاثينيات من القرن العشرين أصبح مفهوماً ، في النوع الخاص من النشاط الإشعاعي الذي اكتشفه بيكريل والمعروف باسم التفكك البيتاوي ، أن القوة الضعيفة سبب تحول النترون إلى بروتون ضمن نواة الذرة المشعة وما يصاحب هذا التحول من تولّد إلكترون وجسيم آخر يُعرف اليوم باسم نترينو مضاد تقذف بهما القوة الضعيفة إلى خارج النواة . وهذا شيء لا يتاح حدوثه بأي نوع آخر من أنواع القوى . أما القوة النووية الشديدة ، التي تمسك بالبروتونات والنترونات مصرورة معاً ضمن النواة ، والقوة الكهرطيسية التي تسعى إلى طرد البروتونات من النواة ، فلا يمكنهما أن تغيرا هويات هذه الجسيمات . كما ليس للقوة الثقالية بالتأكيد أي أثر من هذا النوع . وعلى هذا فإن تحول النترونات إلى بروتونات ، أو البروتونات إلى نترونات ، لدليل على نوع جديد من القوى في الطبيعة . والقوة النووية الضعيفة ، كما ينبئ اسمها ، أضعف من القوتين : الكهرطيسية والنووية الشديدة . وهذا واضح ، مثلاً ، في واقع أن التفكك النووي البيتاوي بطيء جداً ؛ فأسرع أنواعه يتطلب وسطياً قرابة عُشر عُشر الثانية ، وهي مدة طويلة جداً إذا قورنت بالمدد الزمنية التي تستغرقها عمليات القوة النووية الشديدة ، والتي هي من رتبة واحدة من مليون مليون مليون مليون ($١٠^{-٢٤}$) من الثانية الزمنية .

كان إنريكو فِرمي أول من خطا ، عام ١٩٣٣ ، الخطوة الأولى باتجاه نظرية في هذه القوة الجديدة . وفي نظريته لا تفعل القوة النووية الضعيفة عن بعد كما تفعل القوى الثقالية والكهربائية والمغنطيسية ؛ بل إنها تحول النترون إلى بروتون وتولِّد على الفور إلكتروناً ونترينو مضاداً ، كل ذلك في نقطة واحدة من الفضاء . ثم انقضى ربع قرن من الجهود التجريبية الهادفة إلى اختبار ما لم يُختبر من نظرية فرمي ؛ ومن ضمن ذلك كانت مسألة كيفية تعلق القوة الضعيفة بالاتجاه النسبي لسبينات الجسيمات المساهمة . وفي عام ١٩٥٧ تم ذلك وصيغت نظرية فرمي بشكلها النهائي .

وبعد هذا الاختراق صار يمكن القول بعدم وجود شذوذات على فهمنا للقوة النووية الضعيفة . ومع ذلك ، ورغم أننا أصبحنا نملك نظرية قادرة على تفسير كل ما كان معروفاً تجريبياً عن القوة الضعيفة ، كان الفيزيائيون عموماً يرون أن هذه النظرية غير مرضية ، وكان عدد منا يعملون بجهد كبير لتنظيف النظرية وجعلها ذات معنى .

أما الأشياء التي كانت خطأً في نظرية فرمي فلم تكن على الصعيد التجريبي ، بل النظري . فهي أولاً ، ورغم سلوكها الجيد في التفكك البيتاوي ، تعطي نتائج غير معقولة لدى تطبيقها على عمليات غير مألوفة . ومن حق النظريين أن يطرحوا أسئلة معقولة تماماً ،

كالسؤال عن قيمة احتمال تبعثر النترينو عند اصطدامه بنترينو مضاد ؛ وعندما أجروا الحساب (آخذين في الحسبان إصدار وإعادة امتصاص نترون وبروتون مضاد) تبين أن الجواب لا نهائي. ورغم أن تجارب كهذه لم تكن قد أُجريت، لسبب معروف، فإن الحساب قد أسفر عن نتائج لا يمكن أن تتفق مع أية نتيجة تجريبية. وكما ذكرنا، أفضت الحسابات إلى لا نهائيات كتلك التي وقع عليها أوبنهايمر وسواه في نظرية القوة الكهرطيسية في الثلاثينيات ؛ ولئن كان النظريون قد اتفق لهم التخلص من اللانهائيات بتنافيها في الإلكترودیناميك الكمومي عندما يعاد استنظام شحنة الإلكترون وكتلته بشكل مناسب، فقد تبين بوضوح متزايد، مع تراكم المعلومات عن القوة الضعيفة، أن اللانهائيات لا تزول من نظرية فرمي بتلك الطريقة ؛ أي أن هذه النظرية غير قابلة لإعادة الاستنظام.

والشيء الآخر في هذه النظرية كان احتواءها على عدد كبير من العناصر الاختبارية. فالشكل الأساسي للقوة الضعيفة كان مستمداً بمعظمه مباشرة من التجربة وكان يمكن أن يختلف تماماً دون أن ينتهك أياً من المبادىء الفيزيائية المعروفة.

لقد عملتُ مراراً على نظرية القوة الضعيفة بعد تخرجي من الجامعة، ولكنني انتقلت منها عام ١٩٦٧ إلى العمل على القوة النووية الشديدة، التي تمسك بالنترونات والبروتونات مصرورة معاً ضمن نواة الذرة. كنت أحاول صنع نظرية في القوة الشديدة التي تستند إلى تشابه مع الإلكترودیناميك الكمومي. فقد فكرتُ أن الفرق بين القوتين: الشديدة والكهرطيسية يمكن أن يتفسر بظاهرة معروفة باسم **التناظر المكسور** سأشرحها فيما بعد. لكن هذا المنهج لم يفلح ؛ إذ وجدت نفسي أصنع نظرية لا تشبه البتة القوى الشديدة التي كانت معروفة لدينا تجريبياً. ثم تبين لي فجأة أن هذه الأفكار، رغم عدم فائدتها في مجال القوى الشديدة، توفر أساساً رياضياً لنظرية في القوة النووية الضعيفة يمكن أن تتيح عمل كل ما يُراد عمله. فقد استطعت أن أرى إمكانية صنع نظرية في القوة الضعيفة تشبه الإلكترودیناميك الكمومي. وكما يمكن عزو القوة الكهرطيسية بين جسيمين، أحدهما بعيد عن الآخر، إلى تبادل فوتونات فيما بينهما، لا يمكن للقوة الضعيفة أن تفعل فعلها دفعة واحدة في نقطة مفردة من الفضاء (كما كانت الحال في نظرية فرمي)، بل يمكن أن تُعزى إلى تبادل جسيمات كالفوتون فيما بين جسيمات في مواضع مختلفة. لكن أشباه الفوتون الجديدة هذه لا يمكن أن تكون عديمة الكتلة كالفوتون (لسبب وحيد هو أنها لو كانت عديمة الكتلة لاكتُشفت قبلئذ بكثير)، ولكنها أُدخلت في النظرية بطريقه تشبه ظهور الفوتون في الإلكترودیناميك الكمومي، مما دعاني إلى الاعتقاد بأن نظريتي قابلة لإعادة الاستنظام بالمعنى المقصود في الإلكترودیناميك الكمومي — أي أن اللانهائيات قد تتنافى بإعادة تعريف

الكتل والكميات الأخرى الواردة في النظرية . زد على ذلك أن هذه النظرية من شأنها أن تقتصر جيداً على مبادئها الأساسية وتستغني بها عن جزء كبير من اعتباطية النظريات السابقة .

لقد صغتُ جزءاً محسوساً من هذه النظرية ، أي مجموعة خاصة من معادلات تحكم طريقة تفاعل الجسيمات وتنطوي على نظرية ديراك كعملية تقريبية في الطاقات المنخفضة . وفي أثناء هذه الصياغة ، رغم أن ذلك لم يكن فكرتي في بدء عملي ، وجدت أنها ليست فقط نظرية في القوة الضعيفة تستند إلى تشابه مع الكهرطيسية ، بل تبين لي أيضاً أنها نظرية توحِّد القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية ، على أساس أنهما وجهان مختلفان لقوة واحدة تسمى اليوم القوة **الكهرضعيفة** . فأصبح الفوتون ، الذي تنجم القوة الكهرطيسية عن إصداره وامتصاصه ، عضواً من عائلة مترابطة بالقرابة مع جسيمات شبه فوتونية تتنبأ بها النظرية ، وهي : جسيمان مشحونان رمزهما W ومن تبادلهما تنشأ القوة الضعيفة المسؤولة عن التفكك البيتاوي ، وجسيم حيادي أسميته Z . (الجسيمات W لهما قصة قديمة في التكهنات حول القوى الضعيفة ؛ والرمز W هو الحرف الأول من كلمة « weak = ضعيفة » . ووضعت الحرف Z لقريبيهما لأنه عديم الشحنة الكهربائية ولأن هذا الحرف هو الأخير في الأبجدية ، أملاً في أن يكون آخر عضو في هذه العائلة) . كان جوهر هذه النظرية نفسها قد نشأ بصورة مستقلة عام ١٩٦٨ عند الفيزيائي الباكستاني محمد عبد السلام في تريستا (إيطاليا) . وكانت ملامح من هذه النظرية قد بدرت في عمل عبد السلام وجون وورد ، وحتى قبل ذلك عند زميلي في المدرسة الثانوية وجامعة كورنيل ، وشلدون غلاشو .

كان توحيد القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية ، يسير بشكل جيد حتى ذلك الوقت . لكن الإنسان يحب أن يفسر أشياء أكثر فأكثر بأفكار أقل فأقل ، رغم أنني لم أُدرك بالتأكيد حين بدأتُ أنني سوف أصل إلى ما وصلت إليه . لكن هذه النظرية لم تقدم مطلقاً عام ١٩٦٧ أي تفسير لأي شذوذ تجريبي في فيزياء القوة الضعيفة . لم تكن النظرية تفسر أية معلومة تجريبية قائمة لم يكن تفسيرها سابقاً بوساطة نظرية فرمي . فلم تلفت النظرية الكهرضعيفة الجديدة انتباه أحد ، تقريباً ، في بادئ الأمر . لكنني لا أعتقد أن سبب ذلك يعود فقط إلى افتقارها للدعم التجريبي . بل إن التماسك الداخلي للنظريات الجديدة لا يقل أهمية في هذا الشأن .

لقد كنا مقتنعين ، أنا وعبد السلام ، بأن هذه النظرية نظيفة من مشكلة اللانهائيات . ولكننا لم نكن نملك المهارة اللازمة للبرهان على ذلك . ولكنني تلقيت عام ١٩٧١ رسالة معدة للنشر كتبها طالب جامعي مجاز من جامعة أُترخت (هولندا) ، اسمه غيرارت هوفت ،

يقول فيها إنه برهن على أن هذه النظرية قد حلت فعلاً مشكلة اللانهائيات : إن اللانهائيات في حسابات الكميات القابلة للرصد تزول فعلاً بالتنافي ، كما في الإلكتروديناميك الكمومي بالضبط .

لم أكن في البدء مقتنعاً برسالة هوفت . فلم أكن قد سمعتُ به قط ، وكانت نشرته تستخدم طريقة رياضية اخترعها فاينمان لم أكن أثق بها . وبعد قليل سمعتُ أن النظري بِن لي قد اعتمد أفكار هوفت وحاول الحصول على النتائج نفسها باستخدام طرائق رياضية أكثر شيوعاً . كنت أعرف بن لي وأحترمه كثيراً ــ إذا كان هو قد اهتم بعمل هوفت ، فيجب أن أهتم به أنا . (لقد أصبح بن فيما بعد أفضل أصدقائي وشريكي في الفيزياء . وقد قُتل بشكل مأساوي في حادث سير عام ١٩٧٧) . وسرعان ما أوليت عمل هوفت مزيداً من الاهتمام ورأيت أنه قد وجد فعلاً مفتاح البرهان على تنافي اللانهائيات في نظريتنا .

ورغم أن نظريتنا ظلت تفتقر افتقاراً معدماً إلى شاهد تجريبي جديد ، بدأت نظرية الكهرضعيفة بعد نشرة هوفت تأخذ مكاناً في مشروعات البحوث الفيزيائية . وهذا مثال يمكن أن ينبئ بدقة عن مدى الاهتمام بنظرية علمية ؛ فالذي حدث بعدئذ هو أن معهد المعلومات العلمية قد نشر جرداً لعدد الاستشهادات بنشرتي الأولى عن النظرية الكهرضعيفة ؛ وهذا مثال على مدى فائدة تحليل الاستشهادات في أخذ فكرة عن تاريخ العلم . كانت نشرتي الأولى قد ظهرت عام ١٩٦٧ ، ولم يستشهد بها أحد في ذلك العام ولا في العامين التاليين (في أثناء هذه الفترة حاولنا كلانا ، أنا وعبد السلام ، أن نبرهن على ما برهن عليه هوفت ، من أن نظريتنا نظيفة من اللانهائيات) . وفي عام ١٩٧٠ حظيت باستشهاد واحد (لا أعرف من كان ذلك الشخص) . وفي عام ١٩٧١ ، عام نشرة هوفت ، حظيت بثلاثة استشهادات من ضمنها استشهاد هوفت . وفي عام ١٩٧٢ ، وبدون أي دعم تجريبي جديد ، قفز هذا العدد فجأة إلى ٦٥ استشهاد وأصبح ١٦٥ عام ١٩٧٣ ، ثم راح يتزايد تدريجياً إلى أن بلغ ٣٠٠ عام ١٩٨٠ . وتبين دراسة حديثة أجراها المعهد المذكور أن هذه النشرة قد حظيت بأكبر عدد من الاستشهادات في فيزياء الجسيمات العنصرية على مدى السنين الخمسين التي سبقتها .

إن الاختراق الذي أثار في البدء حماس الفيزيائيين لهذه النظرية يعود إلى إدراكهم بأنها قد حلَّت مشكلة فكرية داخلية في فيزياء الجسيمات ، مشكلة اللانهائيات في القوة النووية الضعيفة ، رغم أن النظرية ظلت طوال عامي ١٩٧١ و١٩٧٢ تفتقر إلى أي برهان تجريبي على أنها أفضل من نظرية فرمي القديمة .

ثم بدأ يتضح البرهان التجريبي بالفعل . كان من شأن تبادل الجسيم Z أن يقود إلى

نوع جديد من القوة النووية الضعيفة عُرف باسم **التيار الحيادي الضعيفي** الذي يمكن أن يظهر في تبعثر حزمة من النترينوات بنوى الذرات العادية. (إن عبارة «التيار الحيادي» تُستخدم هنا لأن هذه العمليات لا يحدث فيها تبادل أية شحنة كهربائية بين النوى والجسيمات الأخرى). كان يوجد في سيرن (مركز البحوث النووية الأوربي في جنيف) سلسلة تجارب جارية للبحث في هذا النوع من التبعثر، وكذلك في فرميلاب (خارج تشيكاغو). كانت القضية تحتاج إلى مجهود بحثي ضخم. والتجربة الواحدة تستدعي خدمات أكثر من ثلاثين فيزيائياً أو أربعين. فأنت لا تستطيع أن تجري هذا النوع من التجارب ما لم تكن لديك فكرة جيدة عما تحاول إنجازه. وقد جاء إعلان اكتشاف التيار الحيادي الضعيفي من سيرن أولاً، عام ١٩٧٣، ثم من فرميلاب بعد شيء من التردد. وبعد عام ١٩٧٤، حين اتفق فرميلاب وسيرن على وجود التيارات الحيادية، حصل الاقتناع بصحة نظرية القوة الكهرضعيفة في عموم الأوساط العلمية. هذا لدرجة أن إحدى جرائد ستوكهولم (Dagens Nyheder) أعلنت أنني وعبد السلام سوف ننال جائزة نوبل في الفيزياء عن ذلك العام. (لم يحصل ذلك).

يمكن للمرء أن يتساءل لماذا كان قبول صحة نظرية الكهرضعيفة سريعاً وواسعاً لهذه الدرجة. صحيح أن التيارات الحيادية كانت متوقعة ثم اكتُشفت، ولكن هل هذه هي أسباب توطد النظريات؟ لا أظن أن السبب بمثل هذه البساطة.

فأولاً لم تكن التيارات الحيادية الجديدة على التكهنات بخصوص القوة الكهرضعيفة. فقد تتبعتُ ذات مرة تاريخ نظرية التيارات الحيادية حتى وصلتُ إلى نشرة ظهرت عام ١٩٣٧ تنبأ بها جورج غاموف وإدوارد تيلر، استناداً إلى أسس معقولة جداً، بوجود تيارات حيادية؛ ولدرجة أن تجربة أُجريت في الستينيات كانت تنبئ عن وجود هذه التيارات، لكن لم يصدقها أحد قط؛ فقد كان التجريبيون، الذين وجدوا، عام ١٩٣٧، الدليل على القوة الضعيفة، يقولون دوماً بأنها من قبيل «الخلفية». إن الشيء الوحيد الجديد الذي كانت له أهمية خاصة عند التجريبيين هو توقع أن شدة قوى التيار الحيادي يجب أن تقع ضمن مجال معين. فمن شأنها، في أحد تفاعلات النترينو مثلاً، أن تعطي مفعولات ذات شدة تقع بين ١٥٪ و٢٥٪ من شدة القوى الضعيفة العادية. فهذه النبوءة تعطي فكرة عن الحساسية الواجب توفرها في أي بحث تجريبي عن هذه القوى. لكن الذي جعل عام ١٩٧٣ متميزاً هو أن النظرية جاءت في سياق نوع من الجودة المغرية، على صعيد التماسك والمتانة الداخليين، جعلها معقولة كي يعتقد الفيزيائيون بأنهم لا بد أن يحرزوا في أعمالهم العلمية، بفضل قبول صحتها تقدماً أكبر مما لو انتظروا زوالها.

ولكن يمكن أن نقول ، بمعنى ما ، بأن نظرية الكهرضعيفة قد أصابت دعماً تجريبياً حتى قبل اكتشاف التيارات الحيادية لأنها كانت تعطي بشكل صحيح ، وكمقولة راجعة ، كل خصائص القوى الضعيفة التي كانت نظرية فرمي قد فسرتها من قبل ، وكذلك كل خصائص القوى الكهرطيسية التي كان الإلكتروديناميك الكمومي قد فسرها من قبل . وهنا أيضاً ، كما في حال النسبية العامة ، يمكن أن نتساءل لماذا نستطيع اعتبار المقولة الراجعة نجاحاً إذا فسرت ما أمكن تفسيره بنظرية سابقة ؟ صحيح أن نظرية فرمي كانت تفسر سمات القوى الضعيفة ولكن على حساب إدخال عدد من الافتراضات الاعتباطية ، بمعنى اعتباطية قانون مقلوب المربع في نظرية نيوتن الثقالية . أما نظرية الكهرضعيفة فتفسر هذه الافتراضات (كتعلق القوى الضعيفة بسبينات الجسيمات المتفاعلة) بطريقة جذابة ، لكن من غير الممكن أن نقول أكثر من ذلك عن هذه الأحكام ؛ إنها قضية ذوق وخبرة .

ثم ظهرت فجأة أزمة جديدة عام ١٩٧٦ ، أي بعد ثلاث سنوات من اكتشاف التيارات الحيادية . لم يكن يوجد أدنى شك في وجود التيارات الحيادية ، بل تبين من تجارب أجريت عام ١٩٧٦ أن هذه القوى لا تملك بعضاً من الخصائص التي تتنبأ بها النظرية . وقد ظهر هذا الشذوذ في تجارب أُجريت في سيتل وفي أكسفورد على مرور الضوء المستقطب المار عبر بخار البزموت . وكان معروفاً ، منذ أعمال جان باتيست بيو عام ١٨١٥ ، أن الضوء المستقطب المار عبر محاليل بعض السكاكر يعاني مستوي استقطابه دوراناً نحو اليمين أو اليسار . فإذا كان السكر المحلول من النوع غلوكوز D ، مثلاً ، يكون الدوران نحو اليمين ، ونحو اليسار إذا كان من النوع غلوكوز L . وهذا لأن جزيء الغلوكوز D لا يطابق خياله في مرآة مستوية ، وهذا الخيال هو جزيء الغلوكوز L ؛ أي أن الاختلاف بينهما يماثل الاختلاف بين قفاز اليد اليمنى وقفاز اليد اليسرى (بخلاف قبعة الرأس ، مثلاً ، لأنها تبدو كما هي ، سواء نظرنا إليها مباشرة أو إلى خيالها في المرآة) . وهذا النوع من الدوران الذي يعانيه الضوء المستقطب غير متوقع إذا كان الوسط الذي يخترقه الضوء غازاً مؤلفاً من ذرات إفرادية كذرات البزموت . صحيح أن نظرية الكهرضعيفة تتنبأ بهذا اللاتناظر اليميني ـــ اليساري ، الذي تنطوي عليه القوة النووية الضعيفة فيما بين الإلكترونات ونوى الذرات ، بسبب تبادل جسيمات Z فيما بينها ، وأن من شأن ذلك أن يعطي هذه الذرات نوعاً من « اليدوية » كيدوية القفاز أو يدوية جزيء الغلوكوز . (كان من المتوقع أن يكون هذا المفعول كبيراً جداً في البزموت بسبب خصوصيةٍ في المستويات الطاقية لذراته) . لكن الحسابات قد دلَّت على أن اللاتناظر بين اليمين واليسار في ذرة البزموت يسبب للضوء المستقطب الذي يخترق بخار البزموت دوراناً بطيئاً نحو اليسار . بيد أن التجريبيين في أكسفورد وسيتل قد فوجئوا بعدم

العثور على دوران من هذا القبيل؛ فقالوا بأن هذا الدوارن، إذا كان موجوداً، يجب أن يكون أبطأ بكثير مما تتوقعه النظرية.

كان ذلك حقاً قنبلة موقوتة. فقد بدا أن هذه التجارب تدل على أن النظرية الخاصة، التي ابتكرناها أنا وسلام في عامي ١٩٦٧ــ ١٩٦٨، لا يمكن أن تكون صحيحة في تفاصيلها. لكنني لم أكن مستعداً للتخلي عن أفكارها العامة. فمذ نشرة هوفت، عام ١٩٧١، أصبحتُ مقتنعاً تماماً بصحة الخطوط البارزة لهذه النظرية؛ لكنني كنت أرى أن النسخة الخاصة من هذه النظرية التي صنعناها، أنا وعبد السلام، ليست سوى إمكانية خاصة مبسطة جداً. فقد يوجد، مثلاً، أعضاء آخرون في عائلة الفوتون والجسيمات W و Z، أو جسيمات أخرى ذات قرابة بالإلكترون والنترينو. زد على ذلك أن بيير دوهيم وفان كواين كانا يقولان منذ مدة طويلة بأن النظرية العلمية لا يمكن استبعادها بشكل مطلق بسبب معطيات تجريبية، لأن هناك دوماً طريقة لمداورة النظرية أو افتراضاتها المساعدة في سبيل صنع اتفاق بين النظرية والتجربة. وما على الإنسان أحياناً سوى أن يقرر ما إذا كانت التحويرات المطلوبة لتجنب التناقض مع التجربة «أقبح» من أن تُقبل.

وفي الحقيقة، وبعد تجارب أكسفورد وسيتل، راح العديد منا، نحن النظريين، يحاول إيجاد تعديل بسيط في نظرية الكهرضعيفة من شأنه أن يفسر لماذا لا تنطوي قوى التيارات الحيادية على النوع المتوقع من اللاتناظر بين اليمين واليسار، فكرنا في بادئ الأمر أن من الممكن جعل النظرية أقبح قليلاً من ذي قبل وبحيث تتفق مع كل المعطيات التجريبية. وما زلتُ أتذكر أن بِن لي طار إلى بالوألتو، حيث كنتُ أقضي عامي ذاك، وأنني ألغيت رحلة إلى يوزميت كنتُ قد خططت لها منذ فترة طويلة، كل ذلك كي نحاول معاً تعديل نظرية الكهرضعيفة بما يجعلها تتفق مع آخر المعطيات (بما فيها الإشارات الزائفة إلى تناقضات مع تفاعلات النترينوات العالية الطاقة). ولكن لم نفلح في شيء.

كانت إحدى المشاكل تتمثل في أن تجارب سيرن وفرميلاب قد زودتنا بمعطيات تجريبية كثيرة، حول تبعثر النترينوات بتصادمها مع البروتونات والنترونات؛ كانت كلها تقريباً تبدو كشواهد تؤكد صحة النسخة الأصلية من نظرية الكهرضعيفة. فكان من الصعب أن نرى كيف يمكن لأية نظرية أخرى أن تفعل مثلها وتتفق أيضاً مع نتائج البزموت بشكل طبيعي ــ أي بدون اللجوء إلى إدخال تعقيدات عديدة مدبَّرة بعناية كي تنسجم مع المعطيات التجريبية. وبعد قليل، عندما عدتُ إلى هارفارد، وجدت بالاشتراك مع هوارد جيورجي برهاناً عاماً على عدم وجود طريقة طبيعية لجعل النظرية متفقة، وفي الوقت نفسه، مع المعطيات التي جاءت من أكسفورد وسيتل ومع المعطيات الأقدم حول تفاعلات

النترينو . لكن ذلك لم يمنع بالطبع بعض النظريين من بناء نظريات غريبة جداً (نشاط أصبح معروفاً في بوسطن بأنه ارتكاب فعل غير طبيعي)، عملاً بأقدم قواعد التقدم العلمي : إن صنع شيء ما أفضل من عدم صنع أي شيء .

ثم ، وفي عام ١٩٧٨ ، قيست بتجربة جديدة في ستانفورد القوة الضعيفة بين الإلكترونات ونوى ذرية ، وبطريقة مختلفة كلياً ، لا باستخدام الإلكترونات في ذرات البزموت بل بدراسة تبعثر حزمة إلكترونات عالية الطاقة ، آتية من مسرع ستانفورد ، عن نوى الدوتيريوم (ليس في اختيار الدوتيريوم أي شيء خاص؛ بل هو منبع بروتونات ونترونات مناسب) . وهنا وجد التجريبيون اللاتناظر المتوقع بين اليمين واليسار . ففي هذه التجربة اتخذ هذا اللاتناظر شكل فرق في معدل التبعثر بين الإلكترونات ذات السبين اليساري وبين الإلكترونات ذات السبين اليميني . (السبين هو دوران الجسيم حول نفسه ، ويقال إنه يميني ، أو يساري ، إذا كانت أصابع اليد اليمنى ، أو اليسرى ، وهي مطوية على راحة الكف ، تلف في جهة السبين عندما نوجه الإبهام المفتوح باتجاه حركة الجسيم) . كان الفرق بين المعدلين المقيسين يساوي تقريباً واحداً من عشرة آلاف ، وهو بالضبط القيمة التي تنبأت بها النظرية .

وفجأة قفز فيزيائيو الجسيمات في كل مكان إلى استنتاج أن النسخة الأصلية لنظرية الكهرضعيفة صحيحة في نهاية الأمر . ولكن نلاحظ أننا ما نزال أمام تجربتين تتعارضان مع نبوءات النظرية بخصوص قوة التيار الحيادي الضعيفي بين الإلكترونات والنوى ، وتجربة واحدة فقط تدعم هذه النبوءات ، وفي ظرف مختلف نوعاً ما . فلماذا إذاً سارع الفيزيائيون ، فور أن أتت تجربة تتفق مع نظرية الكهرضعيفة ، إلى الإجماع على أن النظرية لا بد أن تكون صحيحة حقاً؟ من المؤكد أن أحد الأسباب يعود إلى أننا كنا مرتاحين لعدم اضطرارنا إلى التعامل مع أي شكل غير طبيعي يُعطى لنظرية الكهرضعيفة الأصلية . كان معيار «الطبيعية» الجمالي قد استُخدم لمساعدة الفيزيائيين في الموازنة بين معطيات تجريبية متناقضة .

ثم توالت الاختبارات التجريبية لنظرية الكهرضعيفة . ولئن كانت تجربة ستانفورد لم تتكرر ، فإن عدة فرق من الفيزيائيين الذريين راحوا يبحثون عن اللاتناظرات اليمينية ــ اليسارية ، لا في البزموت فحسب بل وفي ذرات أخرى كالتاليوم والسيزيوم . (حتى قبل تجربة ستانفورد ذكر فريق من نوفوسيبير أنهم شاهدوا اللاتناظر المتوقع في البزموت ، ولكن لم يكترث أحد كثيراً بهذا التقرير قبل نتائج ستانفورد ، لأن الفيزياء التجريبية في الغرب السوفييتي لم تكن ذات سمعة جيدة على صعيد الدقة) . وقد أُجريت تجارب عديدة في بركلي وباريز ، وكرر فيزيائيو أكسفورد وسيتل تجاربهم . ويوجد اليوم اتفاق عام بين التجريبيين ، كما بين النظريين ،

على وجود اللاتناظر اليميني ــ اليساري المتوقع وبالقيمة المتوقعة سواء في الذرات أو في تبعثر الإلكترونات العالية الطاقة الذي دُرس في تجربة أكسفورد . أما التجارب الحاسمة لصالح نظرية الكهرضعيفة فكانت بالتأكيد تلك التي أجراها فريق في سيرن يقوده كارلو روبيا . فقد اكتشفوا الجسيمين W عام ١٩٨٣ ، ثم الجسيم Z عام ١٩٨٤ ، وهي الجسيمات الثلاثة التي تنبأت النظرية الأصلية تنبؤاً صحيحاً بوجودها وبخصائصها .

وأنا ، عندما أعود بذاكرتي إلى تلك الأحداث ، أشعر ببعض الأسف على ما أنفقتُ من وقت طويل في محاولة إصلاح نظرية الكهرضعيفة بما يجعلها تتفق مع نتائج أكسفورد ــ سيتل ؛ وأتمنى لو كنت قد نفذت رحلة يوزميت التي خططت لها عام ١٩٧٧ ، ولم أذهب لهناك حتى الآن . وهذه القصة كلها تجسيد جيد لمقولة مأثورة نصف هزلية منسوبة إلى أيدنغتون : يجب على المرء أن لا يصدق أية تجربة إلى أن تأتي نظرية تؤكدها .

أنا لا أريد أن أترك لديك انطباعاً بأن هذه هي دوماً طريقة تأثير كل من التجربة والنظرية في الأخرى وأسلوب تقدم العلم . وما ألححت على أهمية النظرية هنا إلا لأنني أريد أن أكافح ضد رأي يبدو لي معتمداً على تفضيل التجربة أكثر من اللازم . لكن الواقع أن الإنسان يستطيع أن يقرأ تاريخ التجارب المهمة في الفيزياء وأن يجد للتجربة وظائف جديدة عديدة متنوعة ، كما يجد عدة مجالات مختلفة تفاعلت فيها النظرية والتجربة . وسيتضح لك أن أي شيء تقوله عن **إمكانية** تفاعل النظرية والتجربة قد يكون صحيحاً ، وأن أي شيء تقوله عن **وجوب** تفاعل النظرية والتجربة قد يكون خاطئاً .

إن البحث عن قوى التيار الحيادي الضعيفي ، في سيرن وفرميلاب ، مثال على صنف من التجارب التي تُجرى لاختبار الأفكار النظرية التي لم تُقبل عموماً بعد . وهذه التجارب تؤكد تارة أفكار النظريين وتنفيها تارة أخرى . فمنذ بضع سنين تنبأ فرانك ويلزيك ، كما تنبأتُ أنا بمعزل عنه ، بنوع جسيمي جديد . وقد اتفقنا أن نسميه **أكسيون** ، دون أن ننتبه إلى أنه الاسم التجاري لأحد المنظفات . وعندما بحث التجريبيون عن الأكسيون لم يعثروا عليه ــ بالخصائص التي توقعناها على الأقل . قد تكون الفكرة صحيحة أو بحاجة إلى تعديل ؛ وقد استلمتُ ذات يوم رسالة من مجموعة فيزيائيين التقوا في أسبين يقولون فيها « لقد وجدناه ! » لكن الرسالة كانت مربوطة بعلبة من ذلك المنظف .

ويوجد أيضاً تجارب تفاجئنا بأشياء لم يتوقعها أي نظري من قبل ؛ منها مثلاً التجارب التي اكتشفت الأشعة السينية ، وكذلك ما سُمي جسيمات غريبة أو ، بهذه المناسبة ، تبادر فلك عطارد ، وهذه في رأيي هي التجارب التي تثلج صدر التجريبيين والصحافيين أكثر من سواها .

وهناك أيضاً تجارب تقدم لنا مفاجآت **شبه** جديدة ــ أي مفعولات كانت قيد المناقشة كإمكانية ، إمكانية منطقية فحسب دون سبب قاهر يوجب توقعها ؛ ومنها التجارب التي اكتشفت انتهاك ما يسمى تناظر الانعكاس الزمني(*) والتجارب التي اكتشفت جسيمات جديدة كالكوارك « القعري bottom » والجسيم الذي كأنه إلكترون ثقيل جداً والمعروف باسم اللبتون تاو .

ويوجد أيضاً صنف من تجارب أسفرت عن مفعولات كان النظريون يتوقعونها ، ولكنها مع ذلك لم تُكتشف إلا مصادفة لأن التجريبيين لم يكونوا على علم بها ، إما لأن النظريين لم يكونوا على ثقة منها تكفي لإخطار التجريبيين بها ، وإما لأن أقنية التواصل كانت مضطربة أكثر من اللازم . ومن هذه التجارب تلك التي أسفرت عن اكتشاف الخلفية الراديوية الكونية المتخلفة منذ الانفجار الأعظم ، وتجارب اكتشاف البوزترون .

ثم هناك تجارب أُجريت رغم معرفة نتيجتها ، حتى رغم أن النبوءة النظرية مؤكدة لدرجة أن النظرية لا يشوبها أي شك ذي بال ، لأن الظواهر نفسها متشعبة وتتيح إمكانية تجارب إضافية لدرجة أن تستدعي الاستمرار فيها وإيجاد هذه الأشياء . وفي هذا الصنف أضع اكتشاف البروتون المضاد والنترينو ، ومؤخراً اكتشاف الجسيمات W وZ ، كما أضع فيه البحث عن مفعولات غريبة متنوعة تتنبأ بها النسبية العامة ، كالإشعاع الثقالي .

وأخيراً يمكن تصور طائفة من التجارب **تنقض** نظريات مقبولة جيداً ، نظريات أصبحت جزءاً مما هو متفق عليه في الفيزياء . **ومن هذه الطائفة لا أجد أدلَّ مما حدث في السنين المئة الماضية** . فقد حدث ذلك مراراً لنظريات اكتشفنا أن مجال تطبيقها أضيق مما كنا نظن . فنظرية نيوتن في الحركة لا تنطبق على السرعات العالية . وكذلك المماثلة parity ، أي التناظر بين اليمين واليسار ، التي اكتشفنا أنها غير صحيحة في القوة النووية الضعيفة . وهكذا دواليك . لكن لا يوجد في القرن الحالي نظرية كانت صحتها مقبولة لدى عموم الفيزيائيين ثم اتضح أنها **خاطئة** تماماً ، على شاكلة ما حصل لنظرية بطليموس في الأفلاك السماوية ولنظرية أن الحرارة مائع أسموه المائع الحراري . هذا مع أن الإجماع الذي حصل في هذا القرن لصالح النظريات الفيزيائية الجديدة كان يستند في غالب الأحيان ، كما رأينا في حالتي النسبية العامة ونظرية الكهرضعيفة ، إلى اعتبارات جمالية قبل أن تتضح صحة هذه النظريات من خلال التجارب . وأنا أرى في ذلك المقدرة الكبيرة التي يتمتع بها إحساس الفيزيائيين بالجمال متضافراً مع وزن البرهان التجريبي ، حتى ولو تعارض معه في بعض الأحيان .

---

* أي انسياب الزمن رجوعاً على أعقابه نحو الماضي . والتناظر الزمني يعني هنا أن ليس في قوانين الفيزياء المعروفة ما يمنع هذا الانعكاس ، رغم ما فيه من تناقض مع الواقع الشائع . **المترجم**

وكما شرحت سابقاً ، يبدو أن في تقدم الاكتشاف العلمي وتثبيت صحته قسطاً لا بأس به من الفوضى . وعلى هذا الصعيد يوجد توازٍ طريف بين تاريخ الحرب وتاريخ العلم . ففي كلتا الحالين كان المعلقون يبحثون عن قواعد تضمن أكبر حظ من النجاح — أي في علم الحرب أو علم العلم . وقد يكون سبب ذلك ، في التاريخ العلمي والتاريخ العسكري كليهما ولدرجة أعلى بكثير مما في تاريخ السياسة أو الثقافة أو الاقتصاد ، وجود خط واضح جداً يمكن للمرء أن يرسمه بين النصر والهزيمة . ولئن كنا نستطيع أن نسترسل إلى ما شاء الله في مناقشة أسباب وآثار الحرب الأهلية الأمريكية ، إلا أن مما لا شك فيه بتاتاً أن جيش ميد قد انتصر على جيش لي في غيتيسبورغ . وفي هذا السياق نفسه لا يوجد أدنى شك في أن رأي كوبرنيق في المنظومة الشمسية أفضل من رأي بطليموس ، ورأي داروين في التطور أفضل من رأي لامارك .

هذا وإن المؤرخين العسكريين ، حتى ولو لم يحاولوا صياغة علم للحرب ، غالباً ما يكتبون التاريخ وكأن الجنرالات يخسرون المعارك لأنهم لا يتبعون قواعد وطيدة في العلم العسكري . فالجنرالان ، جورج ماك كليلان وأمبروز بورنسايد مثلاً ، في الجيش الاتحادي هما اللذان يحملان مسؤولية كبيرة في الهزيمة . فأولهما يُلام على أنه لم يُرد الالتحام بالعدو ، وهو جيش لي العائد لفرجينيا الشمالية ؛ وثانيهما يُلام لأنه ضحى بأرواح جنوده في هجوم متهور على خصم متحصن جيداً في فريديكسبورغ . ولن يغيب عن أذهانكم أن ماك كليلان قد انتُقد لأنه لم يتصرف على شاكلة بورنسايد ، وأن بورنسايد قد انتُقد لأنه لم يتصرف على شاكلة ماك كليلان . إن هذين الجنرالين كليهما كانا مخطئين جداً ، ولكن ليس لأنهما أخفقا في اتباع قواعد علم عسكري .

الواقع أن أفضل المؤرخين العسكريين يعترفون فعلاً بصعوبة وضع قواعد ذات عمومية . وهم لا يتكلمون عن علم حربي ، بل عن نموذج تصرف عسكري لا يمكن تعليمه ولا وضعه بدقة ، ولكنه يفيد أحياناً بطريقة أو بأخرى في كسب المعارك . وهذا يسمى فن الحرب . وبهذه العقلية ذاتها أعتقد أن على المرء أن لا يأمل في صنع علم للعلم ، أي في صياغة قواعد محددة تحكم كيفية عمل العلميين أو واجباتهم السلوكية ، بل أن يهدف فقط إلى شرح نوع السلوك الذي أدى تاريخياً إلى التقدم العلمي — فن العلم .

الفصل السادس

النظريات الجميلة

حين تمعن روحي المتأملة النظر في غيمة مُذهَّبة أو زهرة،
وحين ترتسم طيوف من الأبدية في تلك الهالات الرهيفة.

Henry Vaughn, The Retreate

في عام ١٩٧٤ جاء ديراك إلى هارفارد كي يتحدث عن عمله التاريخي كواحد من مؤسسي الإلكتروديناميك الكمومي الحديث. وفي نهاية حديثه توجه إلى طلابنا الجامعيين ونصحهم بأن لا يهتموا إلا بجمال معادلاتهم، لا بما تعنيه هذه المعادلات. لم تكن هذه نصيحة جيدة تُعطى للطلاب؛ ولكن البحث عن الجمال في الفيزياء كان سائداً في أعمال ديراك، وفي معظم تاريخ الفيزياء في الواقع.

إن بعض ما يقال عن أهمية الجمال في العلم كان أكثر قليلاً من حديث عاطفي. وأنا لا أريد أن أُخصص هذا الفصل لمزيد من القول في مزايا الجمال؛ بل أريد أن أنظر عن كثب أقرب إلى طبيعة الجمال في النظريات الفيزيائية، وأن أشرح سبب كون إحساسنا بالجمال دليلاً مفيداً تارة وغير مفيد تارة أخرى، وكيف تكون فائدة إحساسنا بالجمال دليلاً على تقدمنا نحو نظرية نهائية.

إن الفيزيائي، عندما يقول عن نظرية إنها جميلة، لا يقصد تماماً المعنى المفهوم من جمال لوحة زيتية أو معزوفة موسيقية أو قصيدة شعرية، وليس ذلك مجرد تعبير شخصي عن متعة جمالية. بل إنه أقرب بكثير إلى المعنى الذي يقصده مدرب الخيل عندما ينظر إلى حصان سباق ويقول إنه حصان جميل. ولئن كان مدرب الخيل يعبر عن رأي شخصي، إلا أنه رأي حول واقع موضوعي: أي أنه يستند إلى أسس لا يستطيع السائس أن يشرحها بالكلمات بسهولة، إنه من نوع الأحصنة التي تفوز في السباق.

ومعلوم أن حكام مدربي الخيل قد تختلف من مدرب لآخر؛ والسباق هو الحكم. لكن الإحساس الجمالي لدى مدربي الخيل وسيلة لغاية موضوعية ــ غاية انتقاء الجياد التي تفوز في السباقات. والمفروض في إحساس الفيزيائي بالجمال أن يفيد لهدف مقصود يُفترض

فيه أن يساعد الفيزيائي في انتقاء الأفكار التي تساعده في فهم الطبيعة. والفيزيائيون، على غرار مدربي الخيل تماماً، قد يكونون على صواب أو خطأ في أحكامهم، ولكنهم لا يقصدون مجرد متعة شخصية. ولئن كانوا غالباً ما **يشعرون بها**، إلا أن ذلك ليس كل ما يهدفون إليه في أحكامهم.

إن هذه المشابهة تطرح من المسائل أكثر مما تحلّ. فأولاً، ما **هي** النظرية الجميلة؟ ما هي مميزات النظرية الفيزيائية التي تعطينا إحساساً بالجمال؟ والسؤال الأصعب هو: ما الذي يجعل إحساس الفيزيائي بالجمال فعالاً عندما يكون فعالاً حقاً؟ إن القصص التي رويناها في الفصل السابق تنبىء، ولو بشعور مبهم، عن أن شيئاً شخصياً وذاتياً، كإحساسنا بالجمال، لا يفيدنا فقط في اختراع نظريات فيزيائية، بل وحتى في الحكم على قيمة النظريات. لماذا نحن موهوبون بركةَ الإحساس الجمالي؟ إن السعي للإجابة عن هذه الأسئلة يطرح سؤالاً آخر أصعب منها جميعاً، رغم أن جوابه قد يبدو بديهياً: ما هو الشيء الذي يريد الفيزيائي إنجازه؟

ما هي النظرية الجميلة؟ لقد استهجن المشرف على عدد كبير من المتاحف الأمريكية عندما سمعني ذات مرة أستخدم كلمة «جمال» في حديث عن الفيزياء. فقال: إن المحترفين في مجال عمله قد توقفوا عن استخدام هذه الكلمة لأنهم أدركوا كم يستحيل تعريفها. لكن الفيزيائي والرياضي هنري بوانكاريه كان يقول: «قد يكون من الصعب جداً إيجاد تعريف لجمال الرياضيات، لكن هذا الكلام ينسحب على جمال أي شيء».

أنا لن أحاول إعطاء تعريف للجمال، كما لا يخطر لي أن أحاول تعريف الحب أو الخوف. إنك لا تُعرِّف هذه الأشياء لكنك تعرفها حين تشعر بها. وقد تستطيع أحياناً، بعد أن تقع لك، أن تقول أشياء كي تشرحها؛ وهذا ما أُحاول أن أفعله هنا.

أنا لا أقصد طبعاً بعبارة جمال النظرية الفيزيائية جمالَ أشكال رموزها في الصفحة المطبوعة. ولئن كان الشاعر الغيبي توماس تراهيرن يجهد في إعطاء قصائده صوراً جميلة في صفحات الديوان، إلا أن ذلك ليس من شؤون الفيزياء. وعليَّ أيضاً أن أُميز بين نوع الجمال الذي أتحدث عنه هنا وبين الصفة التي تُسمى أناقة عند الرياضيين والفيزيائيين. فالبرهان، أو الحساب، الأنيق هو ذلك الذي يصل إلى نتيجة مؤكدة بأقل عدد من التعقيدات غير ذات الصلة. وليس من المهم لجمال النظرية أن تكون معادلاتها بالضرورة ذات حلول أنيقة. فمعادلات النسبية العامة مشهورة بصعوبة حلها، إلا في أبسط الظروف؛ لكن ذلك لا يقلل من شأن جمال النظرية نفسها. ويُحكى عن أينشتاين أنه قال بأن على رجال العلم أن يتركوا الأناقة للخياطين.

إن البساطة عامل من عوامل الجمال عندي ، لكنني أقصد بساطة الأفكار لا بساطة نوع الآلية الذي يقاس بعدد المعادلات أو الرموز . فنظريتا أينشتاين ونيوتن في الثقالة تنطويان كلتاهما على معادلات تعطينا القوى الثقالية الناجمة عن أي مقدار من المادة ؛ وفي نظرية نيوتن ثلاث من هذه المعادلات (واحدة لكل بعد من أبعاد الفضاء) ـــ في نظرية أينشتاين أربع عشرة معادلة . لكن ذلك بحد ذاته لا يمكن أن يُعدَّ مزية جمالية تتفوق بها نظرية نيوتن على نظرية أينشتاين . والواقع أن نظرية أينشاين أكثر جمالاً ، وذلك خصوصاً بسبب بساطة فكرتها المركزية القائلة بتكافؤ الثقالة والعطالة . وهذا حكم اتفق عليه رجال العلم جميعاً وكان، كما رأينا ، من أقوى الأسباب في القبول المبكر لنظرية أينشتاين .

وإضافة للبساطة قد تتمتع النظرية الفيزيائية الجميلة بمزية أخرى ـــ هي ما يمكن أن تعطينا إياه النظرية من شعور بمحتوميتها . فبالإصغاء إلى معزوفة موسيقية ، أو سماع قصيدة شعرية ، يشعر المرء أحياناً شعوراً عميقاً بمتعة جمالية مغزاها أن لا شيء يمكن تغييره في ذلك العمل ، أي أنك تحب أن لا تتغير أية نغمة أو أية كلمة فيما سمعت . ففي لوحة رافائيل ، العائلة المقدسة ، ترى أن كل شيء يحتل المكان المثالي في اللوحة . قد لا تكون هذه اللوحة بتاتاً من نوع اللوحات الذي تفضله ، ولكنك عندما تشاهد تلك اللوحة لا ترى فيها شيئاً تتمنى لو كان رافائيل قد فعله بشكل آخر . وهذا القول صحيح بعض الشيء (بعض الشيء فقط على كل حال) في النسبية العامة ؛ فبمجرد أن تعلم المبادئ الفيزيائية العامة التي تبناها أينشتاين تدرك أن لا شيء سواها كان يمكن أن يقوده إلى نظرية أخرى في الثقالة تختلف اختلافاً محسوساً عن النسبية العامة . وبهذا الصدد يقول أينشتاين : « إن الجاذبية الأساسية التي تتمتع بها النظرية تكمن في اكتمالها المنطقي . فإذا تبين خطأ نتيجة واحدة من نتائجها ، يجب استبعاد النظرية برمتها ؛ وعندئذ يكون من المستحيل تعديلها دون أن ندمر بنيتها كلها »

لكن هذا القول أقل انطباقاً على نظرية نيوتن الثقالية . إذ كان بإمكان نيوتن أن يفترض أن القوة الثقالية تتناقص متناسبة عكسياً مع مكعب المسافة ، بدلاً من مربعها ، لو كان ذلك ما تقتضيه المعطيات الرصدية ؛ لكن أينشتاين لم يكن بإمكانه أن يُدخل قانون مقلوب المكعب في نظريته دون أن يفتت أساسها الفكري ، فمعادلات أينشتاين الأربع عشرة تتمتع إذاً باكتمال ومحتومية لا محيد عنهما ، ومن ثم بجمال تفتقر إليه معادلات نيوتن الثلاث . وأعتقد أن هذا ما عناه أينشتاين عندما نعت بالجمال ذلك الجانب من المعادلات الذي يتناول الحقل الثقالي في نظريته النسبوية العامة ، وكأنه مصنوع من الرخام ، وبالامتياز عن الجانب الآخر من المعادلات الذي يختص بالمادة ويقول عنه بأنه ما زال قبيحاً ، كأنه مصنوع من الخشب . إن الطريق الذي يسلكه الحقل الثقالي للدخول في معادلات أينشتاين طريق لا محيد

عنه تقريباً ؛ ولكن لا يوجد في النسبية العامة ما يفسر سبب اتخاذ المادة الشكل الذي تتخذه .

وهذا المعنى الكمالي الذي لا محيد عنه يمكن اكتشافه (ولكن جزئياً) في نموذجنا المعياري الحديث للقوتين، الشديدة والكهرضعيفة، العاملتين في فيزياء الجسيمات العنصرية. إذ يوجد سمة واحدة مشتركة تعطي النسبية العامة والنموذج المعياري معنى لمعظم ما فيهما من محتومية وبساطة، ألا وهي استجابتهما **لمبادئ تناظرية**.

المبدأ التناظري هو ببساطة مقولة مفادها أن الشيء المتناظر يظهر كما هو تماماً من مواقع نظر مختلفة. وأبسط أنواع التناظر هو التناظر التقريبي للوجه البشري عندما يُنظر إليه من جانبيه. فبسبب الاختلاف الضئيل بين جانبيه يظهر وجهك بالمنظر نفسه سواء رأيته كما هو أم بادلت بين نصفيه: الأيمن والأيسر، كما تراه في المرآة. إنه تقريباً نسخة سينمائية تجعل المشاهدين يدركون فجأة أن الوجه الذي كانوا يرونه لم يكن سوى صورة وجه الممثل في المرآة. لكن المفاجأة تزول إذا كان للناس عينان في جهة واحدة من الوجه، ومن الجهة نفسها لدى الجميع، اليمنى مثلاً.

يوجد أشياء ذات تناظرات أكثر مما في الوجه البشري. فالمكعب مثلاً له المنظر نفسه من أي جهة من جهاته الست المتعامدة نظرت إليه، وكذلك لو بادلت بين يمينه ويساره. والبلورات المثالية تظهر بالمظهر نفسه ليس فقط عندما تراها من اتجاهات مختلفة بل وأيضاً عندما تنقل، ضمن البلورة، موقع النظر بمسافات معينة في اتجاهات متخالفة. والكرة تظهر كما هي من أي اتجاه نظرت إليها. والفضاء الخالي يظهر كما هو في كل الاتجاهات ومن كل المواقع.

إن هذا النوع من التناظرات قد أمتع وحيَّر الفنانين ورجال العلم آلاف السنين، ولكنه لم يلعب حقاً أي دور في العلم. فنحن نعرف أشياء كثيرة من الملح، ولكننا لا نضع في صنف الأشياء المهمة أن بلورته مكعبة وأنها إذن تظهر بالمظهر نفسه من ستة اتجاهات. ومن المؤكد أيضاً أن التناظر الثنائي الاتجاه ليس أهم شيء في الوجه الإنساني. فليست تناظرات **الأشياء** أهم ما في الطبيعة من تناظرات، بل تناظرات **القوانين**.

وتناظر قوانين الطبيعة مفاده أن القوانين التي نكتشفها لا تتغير عندما نغير بعض مواقع النقاط التي نرصد منها الظواهر الطبيعية. وغالباً ما نسمي هذه التناظرات مبادئ **صمود**. فقوانين الطبيعة التي نكتشفها تتخذ الشكل نفسه مهما كان اتجاه مختبراتنا؛ فلا يتغير شكل القوانين سواء قسنا الاتجاهات بالنسبة للشمال أو الشمال الشرقي أو الشاقول الصاعد أو النازل. لم يكن هذا واضحاً لفلاسفة الأقدمين أو القرون الوسطى. إذ أننا في

الحياة اليومية نلحظ فروقاً بين شتى الاتجاهات : الصاعدة والنازلة والأفقية ... ولم يتضح إلا مع نشأة العلم الحديث في القرن السابع عشر أن الاختلاف فيما بين هذه الاتجاهات ناجم فقط عن وجود كتلة ضخمة تحت أقدامنا هي الأرض ، وليس (كما يظن أرسطو) لأن المكان الطبيعي للأشياء الثقيلة أو الخفيفة موجود في الأسفل أو في الأعلى . ولكن لاحظ أن هذا التناظر يعني أن الأسفل والأعلى سيان ؛ فالراصد الذي يقيس المسافات نحو الأعلى أو نحو الأسفل بدءاً من سطح الأرض يجد للحوادث أوصافاً مختلفة ، كسقوط التفاحة مثلاً ، ولكنه يكتشف أن القوانين هي هي ، كالقانون الذي يقضي بأن تنجذب التفاحة نحو كتلة كبيرة كالأرض .

وقوانين الطبيعة لها أيضاً شكل واحد أياً كان مكان مختبرنا ؛ فلا فرق في النتائج سواء أجرينا تجاربنا في تكساس أو سويسرا أو سوريا أو على كوكب موجود في الجهة الأخرى من المجرة . وقوانين الطبيعة لها الشكل نفسه كيفما تدبرنا ميقاتياتنا ؛ فلا فرق بين أن نؤرخ الأحداث بالنسبة للهجرة النبوية أو لميلاد المسيح أو لبدء خلق العالم . وهذا أيضاً لا يعني أن لا شيء يتغير مع الزمن أو أن تكساس لا تختلف عن سويسرا ، ولكن يعني فقط أن القوانين المكتشفة في أوقات مختلفة وأماكن مختلفة هي نفسها . ولو لم تكن هذه التناظرات موجودة لوجب تكرار الأعمال العلمية في كل موقع وفي كل وقت .

وأياً كان المبدأ التناظري فهو في الوقت نفسه مبدأ بساطة . ولو كانت قوانين الطبيعة تُميز فعلاً بين الاتجاهات ، كالأعلى أو الأسفل أو الشرق أو الغرب ، لكان علينا أن نضع في معادلاتنا شيئاً يحتفظ بذكرى اتجاه مختبراتنا ، وكانت ستصبح أعقد مما هي . فالواقع أن الترميز الذي يستعمله الرياضيون والفيزيائيون لصنع معادلاتنا بأبسط وأكثف شكل ممكن مبنيٌّ ضمن فرضية أن كل الاتجاهات الفضائية متكافئة .

إن هذه التناظرات في قوانين الطبيعة ، على أهميتها في الفيزياء التقليدية ، تكتسي أهمية أكبر في ميكانيك الكم . فما الذي يجعل هذا الإلكترون يختلف عن ذاك ، أو ذلك ، مثلاً ؛ طاقته واندفاعه وسبينه فحسب ؛ فباستثناء هذه الخصائص ، لا يختلف أي إلكترون في هذا الكون عن أي إلكترون آخر . وكل خصائص الإلكترون هذه هي مجرد كميات تحدد طريقة استجابة تابع الموجة الميكانيكي الكمومي الذي يصف الإلكترون للتحويلات التناظرية ، أي لطريقة تغيير تدبير ميقاتياتنا أو تغيير موقع واتجاه مختبرنا(★) . وبذلك تفقد المادة أي دور

★ مثلاً : إن تواتر اهتزاز التابع الموجي لأية منظومة في حالة طاقية محددة يساوي طاقة المنظومة مقسومة على ثابت من ثوابت الطبيعة اسمه ثابتة بلانك . وهذه المنظومة تظهر تقريباً في حالة واحدة لراصدين جعلا ميقاتيتيهما تختلفان بثانية زمنية واحدة ؛ ولكن إذا رصد كل منهما المنظومة عندما يشير عقرب ميقاتيته إلى

مركزي في الفيزياء . وكل الباقي هو مبادئ تناظر وطرائق يمكن أن تسلكها توابع الموجة إزاء تحويلات تناظرية .

هذا ويوجد تناظرات زمكانية أقل وضوحاً من هذه الانسحابات والدورانات . فقوانين الطبيعة تظهر أيضاً متخذة شكلاً واحداً بالنسبة لرصاد متحركين بسرعات ثابتة متخالفة ؛ فلا فرق بين أن نجري تجاربنا هنا في المنظومة الشمسية المندفعة حول مركز مجرتنا بسرعة مئات الكيلومترات في الثانية ، أو في مجرة نائية تهرب من مجرتنا بسرعة عشرات آلاف الكيلو مترات في الثانية . وهذا المبدأ التناظري الأخير يسمى أحياناً مبدأ النسبية . وبهذا الصدد يوجد انطباع شائع بأن أينشتاين هو الذي اخترع هذا المبدأ ، ولكن كان يوجد أيضاً مبدأ نسبية في ميكانيك نيوتن ؛ ويقتصر الفرق بينهما على طريقة تأثير سرعة الراصد في أرصاد المواضع والأزمنة في النظريتين . فنيوتن كان يعتبر مبدأ نسبيته كشيء مُسلَّم به ؛ في حين أن أينشتاين قد صاغ مبدأ نسبيته ليكون عن قصد متفقاً مع الواقع التجريبي ، أي أن سرعة الضوء ذات قيمة ثابتة مهما كان نوع حركة الراصد الذي يقيسها . وبهذا المعنى يكون الإلحاح على التناظر كقضية فيزيائية ، في نشرة أينشتاين عن النسبية الخاصة عام ١٩٠٥ ، تاريخ بدء الموقف الجديد إزاء مبادئ التناظر .

الثانية عشرة ظهراً بالضبط ، فإنهما يشاهدان أن الاهتزاز ذو طورين مختلفين ؛ وربما أن ميقاتيتيهما قد وُضعتا بالاختلاف المذكور ، يكونان قد رصدا المنظومة عملياً في وقتين مختلفين ، فيشاهد أحدهما مثلاً الموجة في ذروتها ويشاهدها الآخر في حضيضها ، وبالتحديد يتميز الطور بعدد الدورات ، أي الهزات ، (أو أجزاء الدورات) التي تحصل في ثانية واحدة ؛ وبتعبير آخر ، بتواتر الاهتزاز : عدد الدورات في الثانية ، أي بالطاقة مقسومة على ثابتة بلانك . ونحن ، في ميكانيك الكم الحالي ، **نُعرِّف** طاقة أية منظومة بأنها التغير في طور (بالدورات أو أجزاء الدورات) تابع موجة المنظومة في زمن **ميقاتي** معطى عندما نزيح بثانية واحدة تأشيرة ميقاتياتنا . وبتعبير آخر نقول : إن ثابتة بلانك لاتدخل في الفيزياء الكمومية إلا لأن الطاقة كانت تاريخياًتُقاس بوحدات كالحريرة أو الجول أو الإلكترون فولت ، قبل قدوم ميكانيك الكم ؛ فثابتة بلانك ليست أكثر من معامل تحويل بين وحدات الطاقة القديمة وبين وحدة الطاقة الطبيعية الكمومية ، التي هي دورات في الثانية . ويمكن البرهان على أن الطاقة المعرَّفة بالشكل أعلاه تنطوي على كل الخصائص التي ننيطها عادة بالطاقة ، بما فيها انحفاظها ؛ وواقع الأمر أن صمود قوانين الطبيعة إزاء التحويل التناظري المتمثل في إزاحة زمن الميقاتيات هو **السبب** في وجود ما نسميه طاقة . وبالطريقة نفسها تقريباً نُعرِّف مُركِّبة اندفاع أية منظومة على أي محور بأنها حاصل ضرب ثابتة بلاك بتغير طور تابع الموجة عندما نزيح النقطة التي نقيس منها واقع المنظومة بمقدار سنتيمتر واحد باتجاه ذلك المحور . كما أن قيمة سبين أية منظومة حول أي محور تتعرف بأنها حاصل ضرب ثابتة بلانك بتغير طور تابع الموجة عندما ندوِّر ، دورة واحدة كاملة حول المحور نفسه ، مرجع المقارنة الذي نقيس الاتجاهات منه . ومن وجهة النظر هذه يكون الاندفاع والسبين كما هما لأن قوانين الطبيعة تناظرية إزاء تغيير مرجع المقارنة الذي نستخدمه لقياس المواقع والاتجاهات في الفضاء . (عندما عدَّدتُ خصائص الإلكترون لم أضع الموقع ضمنها ، لأن الموقع والاندفاع خاصيتان متتامتان ؛ فنستطيع توصيف حالة الإلكترون بدلالة موقعه **أو** اندفاعه ، ولكن لا بالاثنين معاً) .

إن أهم فرق تولِّده حركة الرصاد فيما بين نتائج رصد المواقع الزمكانية يتجلى ، في نسبية أينشتاين الخاصة وبخلاف فيزياء نيوتن ، في أن التزامن بين حادثين (حدوثَهما في لحظة واحدة) يفقد في نسبية أينشتاين المعنى المطلق الذي كان له في نسبية نيوتن . فقد يرى أحد الراصدين ميقاتيتين تدقان ساعة الظهر (الثانية عشرة) في وقت واحد ؛ في حين أن الراصد الآخر ، إذا كان متحركاً بالنسبة للأول ، يرى أن إحدى الميقاتيتين تدق ساعة الظهر قبل الأخرى أو بعدها . وهذا ، كما ذكرنا ، يجعل نظرية نيوتن في الثقالة ، أو أية نظرية أخرى تشبهها ، غير منسجمة مع النسبية الخاصة . فنظرية نيوتن تقول بأن القوة التي تسلطها الشمس على الأرض في أية لحظة تتعلق بموقع كتلة الشمس في اللحظة نفسها ، ولكن اللحظة نفسها بالنسبة لمن ؟

إن الوسيلة الوحيدة لاجتناب هذه المسألة هي التخلي عن رأي نيوتن القائل بأن الفعل عن بعد يحصل آنياً وأن تُستبدل بها صورة قوة ناجمة عن **حقول** . ففي هذه الصورة لا تجذب الشمس الأرض بفعل آني مباشر ؛ بل إن الشمس تخلق حقلاً ، يسمى الحقل الثقالي ، يسلط قوة على الأرض . قد يبدو هذا الاختلاف تمايزاً بدون فرق ، لكن الواقع أنه فرق حاسم : فالشواظ الذي يندلع من الشمس ، مثلاً ، يؤثر أولاً في الحقل الثقالي قرب سطحها ، ثم ينتشر هذا التغير الضئيل في الفضاء بسرعة الضوء كما تنتشر مويجات على سطح ماء راكد منطلقة من موقع سقوط حصاة فيه ، فلا تصل المويجة الثقالية إلى الأرض إلا بعد حوالي ثماني دقائق من انطلاقها من الشمس . وكل الرصاد المتحركين بأية سرعة ثابتة يتفقون على هذا التوصيف ، لأنهم جميعاً متفقون بموجب النسبية الخاصة على سرعة الضوء . وعلى غرار ذلك يخلق الجسم المشحون بالكهرباء حقلاً ، يسمى الحقل الكهرطيسي ، يسلط قوة كهربائية وقوة مغنطيسية على الأجسام الأخرى المشحونة . وعندما يتحرك الجسم المشحون فجأة ، يتغير الحقل الكهرطيسي أولاً قرب هذا الجسم ، ثم ينتشر هذا التغير في الفضاء بسرعة الضوء . والواقع أن هذه التغيرات في الحقل الكهرطيسي **هي** التي نسميها ضوءاً ، رغم أن هذا الضوء غالباً ما يكون ذا طول موجة أصغر أو أكبر مما نستطيع رؤيته .

كانت نظرية أينشتاين تتفق جيداً في سياق الفيزياء قبل الكمومية مع نظرة مثنوية إلى الطبيعة . ففي الطبيعة جسيمات ، كالإلكترونات والبروتونات والنترونات في الذرات العادية ، وفيها حقول ، كالحقل الثقالي والحقل الكهرطيسي . لكن ميكانيك الكم قد أسفر عن نظرة أكثر وحدوية بكثير . فحقل الطاقة والاندفاع فيه ، كالحقل الكهرطيسي ، يأتي بشكل رزم اسمها فوتونات تتصرف كجسيمات بالضبط ولكن غير ذات كتلة . وهذا أيضاً شأن الطاقة والاندفاع في الحقل الثقالي ، فهي تأتي على شكل رزم اسمها غرافيتونات ، وتتصرف هي

الأخرى تصرف جسيمات عديمة الكتلة . ونحن لا نشعر ، في حقل قوى واسع كحقل الشمس الثقالي ، بفرادى الغرافيتونات بسبب كثرة عددها خصوصاً .

ففي عام ١٩٢٩ شرح هايزنبرغ وباولي (بالاستناد إلى عمل سابق قام به بورن وهايزنبرغ وجوردان وفغنر) في مقالتين كيف يمكن أيضاً أن نفهم الجسيمات ذات الكتلة كالإلكترون على أساس أنها رزم من الطاقة والاندفاع في مختلف أنواع الحقول، كحقل الإلكترون . وكما تُعزى القوة الكهرطيسية ، في ميكانيك الكم ، بين إلكترونين إلى تبادل فوتونات بينهما ، تُعزى القوة بين الفوتونات والإلكترونات إلى تبادل إلكترونات . وهنا يزول معظم الفرق بين المادة والقوة ؛ فيمكن للجسيم أياً كان أن يؤدي وظيفة جسيم اختبار تتسلط عليه القوى ويمكن أن تنشأ عن تبادله قوى أخرى . ومن المقبول عموماً أن الوسيلة الوحيدة لدمج مبادئ النسبية الخاصة وميكانيك الكم معاً ستظهر من خلال نظرية كمومية في الحقول أو شيء آخر يشبهها جداً . وذلك هو بالضبط نوع المتانة المنطقية الذي يعطي الجمال لنظرية أساسية حقاً : ذلك أن ميكانيك الكم والنسبية الخاصة متناقضان تقريباً ، وإن التوفيق بينهما في نظرية حقل كمومية يفرض قيوداً شديدة على طرائق تفاعل الجسيمات فيما بينها .

إن كل التناظرات التي ذكرناها حتى الآن فقط تحدُّ من أنواع القوى والمادة التي قد تحويها النظرية المطلوبة ــ إن هذه التناظرات بحد ذاتها **لا تستلزم** وجود أي نوع خاص من القوى والمادة . وقد ارتقت مبادئ التناظر إلى مستوى جديد من الأهمية في هذا القرن ، لا سيما في العقود القليلة الأخيرة ؛ ويوجد مبادئ تناظر تستدعي لزاماً وجود كل قوى الطبيعة المعروفة .

إن مبدأ التناظر الأساسي في النسبية العامة يقول بأن **كل** مراجع المقارنة متكافئة إزاء قوانين الطبيعة : أي أن هذه القوانين لها شكل واحد لا بالنسبة للرصاد المتحركين بسرعة ثابتة فحسب ، بل وبالنسبة لكل الرصاد مهما كان تسارع دوران مختبراتهم . هب أننا نقلنا أجهزتنا الفيزيائية من هدوء مختبر جامعي وأجرينا تجاربنا على منصة دوامة باستمرار كما في مدينة الملاهي . وبدلاً من أن نقيس الاتجاهات بالنسبة للشمال قسناها بالنسبة للأحصنة المثبتة على المنصة الدوامة ؛ فللوهلة الأولى تظهر قوانين الطبيعة مختلفة تماماً ؛ لأن الرصاد الموجودين على المنصة الدوامة يلاحظون قوة نابذة يبدو أنها تجر الأشياء الواهية التثبيت نحو خارج المنصة . ولو كان هؤلاء الرصاد قد وُلدوا وكبروا على هذه المنصة ولم يعلموا أنها منصة دوامة لوصفوا الطبيعة بقوانين ميكانيكية تحوي هذه القوة النابذة ، وهي قوانين تظهر مختلفة تماماً عن تلك التي تكتشفها البقية منا .

إن واقع اختلاف قوانين الطبيعة من مرجع مستقر إلى مرجع دوار كان قد أربك نيوتن

ومن تلاه من الفيزيائيين في القرون التالية . وفي ثمانينيات القرن التاسع عشر أشار الفيزيائي والفيلسوف النمساوي أرنست ماخ إلى طريقة تتيح تفسير ذلك . فقد ألح ماخ على أن في الأمر شيئاً آخر ، إضافة إلى القوة النابذة ، يميز المنصة الدوامة عن المختبرات الأكثر شيوعاً . فمن وجهة نظر فلكي يعيش على المنصة الدوامة تبدو الشمس والنجوم والمجرات — في الواقع مجمل مادة العالم — دوارة حول محور المنصة . فأنا وأنت نقول إن ذلك انطباع ناجم عن تدويم المنصة ، **ولكن الفيزيائي الذي نشأ عليها واستخدمها ، هي طبعاً ، كمرجع مقارنة لديه سوف يُصر على أن بقية العالم هو الذي يدور حوله . وهنا تساءل ماخ عما إذا كان يوجد وسيلة لإلقاء مسؤولية القوة النابذة على عاتق هذا الدوران الظاهري العظيم لمادة العالم . فإذا أمكن ذلك** نستطيع عندئذ بالفعل أن نقول بأن القوانين المكتشفة على المنصة الدوامة لا تختلف البتة عن تلك التي وجدناها في المختبرات الشائعة ؛ وسيكون الفرق الظاهري ناجماً فقط عن البيئة المختلفة التي يراها الرصاد في شتى مختبراتهم .

لقد استغل أينشتاين فكرة ماخ ووضعها بصراحة في نظريته النسبوية العامة . ففي هذه النظرية يوجد فعلاً تأثير ناجم عن النجوم النائية يخلق ظاهرة القوة النابذة في منصة دوامة ، وهذا التأثير هو قوة الثقالة . ولا يوجد طبعاً أي شيء من هذا القبيل في نظرية نيوتن الثقالية ، فهي لا تقول بسوى وجود تجاذب فيما بين الكتل كلها . والنسبية العامة أعقد ؛ ودوران مادة العالم حول محور المنصة الدوامة ، كما يراه الرصاد الذين يعيشون عليها ، يولِّد حقلاً يشبه في بعض وجوهه الحقل المغنطيسي الذي يولده دوران التيار الكهربائي في وشيعة تحريض كهرطيسي . فهذا الحقل « الثقاطيسي » هو الذي يولِّد ، في مرجع المقارنة الدوّام ، المفعولات التي تُعزى في المراجع المختبرية الشائعة إلى القوة النابذة . وهكذا يمكن أن نقول بأن **معادلات النسبية العامة** ، بخلاف **معادلات ميكانيك نيوتن** ، هي نفسها سواء في المختبر الدوام أو في المختبرات الشائعة ؛ والاختلاف الملحوظ بين هذين النوعين من المختبرات ناجم بتمامه عن اختلاف في البيئة — عالم يدور حول محور رأسي أو عالم لا يفعل ذلك . ولكن لولا وجود الثقالة لاستحال العثور على هذا التفسير الجديد للقوة النابذة ، ولكان من شأن القوة النابذة ، التي يُحَسُّ بها على المنصة الدوامة ، أن تتيح لنا تمييزاً بين المختبر الدوام وبين المختبرات الأكثر شيوعاً ، ولا نتفى التناقض فيما بين شتى المختبرات : الدوامة وغير الدوامة . **فالتناظر فيما بين مختلف مراجع المقارنة يستلزم إذن وجود الثقالة .**

أما التناظر الموجود في أساس نظرية الكهرضعيفة فهو أكثر خفاءً بقليل . إنه غير ذي صلة بالتغيرات التي نلحظها في المنظومة عندما نغير ، مكانياً أو زمانياً ، موقع نظرنا إليها . ولكنه يتناول تغيرات وجهة نظرنا بخصوص هوية مختلف أجناس الجسيمات العنصرية . فكما يمكن للجسيم أن يحتل حالة كمومية لا يكون فيها هنا ولا هناك ، أو أن « يسبن » (يدوِّم على

نفسه) باتجاه عقارب الميقاتية أو عكسه ، يمكننا أيضاً بفضل عجائب ميكانيك الكم أن نصبح أمام جسيم في حالة لا يكون فيها إلكتروناً صرفاً ولا نترينو صرفاً إلى أن نقيس إحدى الخصائص التي تميز أحدهما عن الآخر ، كالشحنة الكهربائية . ففي نظرية الكهرضعيفة لا يتغير شكل قوانين الطبيعة إذا بادلنا الإلكترونات والنترينوات في أي مكان من معادلاتنا بحالات مختلفة من هذا القبيل ليست هي إلكترونات ولا نترينوات . ولما كانت شتى أجناس الجسيمات الأخرى تتفاعل مع الإلكترونات والنترينوات يصبح من الضروري في الوقت نفسه أن نمزج معاً عائلات من هذه الأجناس الجسيمية الأخرى ، كالكواركات العلوية (u) مع الكواركات السفلية (d) ، كما مزجنا معاً الفوتونات وأقرباءها : الجسيمات W^+ و W^- و Z . ذلك هو التناظر الذي يصل ما بين القوى الكهرطيسية ، الناجمة عن تبادل فوتونات ، والقوى النووية الضعيفة الناجمة عن تبادل أقربائها W و Z . فالفوتونات والجسيمات W و Z تظهر في نظرية الكهرضعيفة رزماً من طاقة أربعة حقول ، حقول يتطلبها تناظر هذه النظرية على شاكلة الحقل الثقالي المطلوب لتناظرات النسبية العامة .

إن التناظرات التي من النوع الذي يكمن في أساس نظرية الكهرضعيفة تسمى **تناظرات داخلية** ، لأننا يمكن أن نعتبرها ذات صلة بالطبيعة الأصلية للجسيمات ، لا بمواقعها أو حركاتها . والتناظرات الداخلية أقل شهرة من التناظرات التي تحكم المكان والزمان : كالتناظرات التي تحكم النسبية العامة . وأنت تستطيع أن تعتبر كل جسيم وكأنه يحمل قرصاً صغيراً عليه إبرة تتجه نحو كلمة « إلكترون » أو « نترينو » ، أو نحو « فوتون » أو «W» ، أو نحو أية كلمة بينهما . وبتعبير آخر ، يقول التناظر الداخلي بأن قوانين الطبيعة تتخذ الشكل نفسه إذا دورنا العلامات على هذه الأقراص بطرائق معينة .

وإضافة لذلك ، ومن أجل نوع التناظر الذي يحكم القوى الكهرضعيفة ، يمكن أن ندوِّر الأقراص تدويراً مختلفاً من أجل جسيمات في أزمنة أو مواقع مختلفة . وهذا يشبه تقريباً التناظر الأساسي في النسبية العامة الذي يتيح لنا أن ندوِّر مختبرنا لا بزاوية ثابتة فحسب ، بل وبمقدار يتزايد مع الزمن وذلك بأن نضع المختبر على منصة دوامة . وصمود قوانين الطبيعة إزاء زمرة من التحويلات التناظرية الداخلية المتعلقة بالمكان أو الزمن يسمى تناظراً **موضعياً** (لأن مفعول التحويلات التناظرية يتعلق بالموضع في المكان والزمن) أو تناظراً **عيارياً** (لأسباب تاريخية صرفة) . والتناظر الموضعي بين مراجع المقارنة ، المكانية والزمنية ، هو الذي يجعل الثقالة ضرورية ؛ وبالطريقة نفسها تقريباً يوجد تناظر موضعي ثانٍ بين الإلكترونات والنترينوات (وبين الكواركات u والكواركات d ، وهكذا دواليك) يجعل وجود حقول الفوتون W و Z ضرورياً .

يوجد أيضاً تناظر موضعي ثالث دقيق مرتبط بخاصية داخلية للكواركات ومعروف بالاسم الزائف : **لون** . فقد رأينا أن هناك أنواعاً مختلفة من الكواركات ، كالكواركين u و d اللذين منهما تتألف البروتونات والنترونات الموجودة في كل نوى الذرات العادية . وكل نوع كواركي يأتي على ثلاثة « ألوان » غالباً ما تسمى (في الولايات المتحدة على الأقل) أحمر وأزرق وأبيض(*) . وليس لهذه التسميات بالطبع أية علاقة بالألوان العادية ، إنما هي مجرد أسماء تُستعمل للتمييز بين أنواع فرعية لكل كوارك . ويوجد في الطبيعة ، على حد علمنا ، تناظر تام بين شتى الألوان ؛ فالقوة بين كوارك أحمر وكوارك أبيض لا تختلف بتاتاً عن القوة بين كوارك أبيض وكوارك أزرق . والقوة بين كواركين أحمرين لا تختلف بتاتاً عن القوة بين كواركين أزرقين . لكن هذا التناظر يذهب إلى أبعد من مجرد تبادلات ألوان . ففي ميكانيك الكم نستطيع اعتبار حالات الكوارك الواحد على أساس أنه ليس أحمر صرفاً ولا أزرق صرفاً ولا أبيض صرفاً . وتتخذ قوانين الطبيعة الشكل نفسه إذا بدلنا الكواركات الحمراء والبيضاء والزرقاء بكواركات من مزيج حالات مناسب (أرجواني وقرنفلي ووردي مثلاً) . وهنا أيضاً ، كما في النسبية العامة ولأن قوانين الطبيعة لا تتغير ولو تغيرت المزائج من مكان لآخر ومن وقت لآخر ، يضطرنا هذا الواقع إلى أن نُدخل في النظرية عائلة من حقول تتفاعل مع الكواركات وتشابه الحقل الثقالي . وهذه الحقول ثمانية ؛ وهي معروفة باسم الحقول الغليونية gluon ، وهي تسمية مشتقة من الكلمة الإنكليزية glue (غِراء) لأن القوى الشديدة الناجمة عن هذه الحقول تعمل كغراء يمسك بالكواركات مصرورة ضمن البروتون والنترون . ونظريتنا الحديثة في هذه القوى ، واسمها **الكروموديناميك الكمومي** (الدينامية اللونية الكمومية ، لسبب واضح) ، ليست سوى نظرية في الكواركات والغليونات تحترم هذا التناظر الموضعي اللوني . والنموذج المعياري في الجسيمات العنصرية الأساسية يتألف من دمج نظرية الكهرضعيفة والكروموديناميك الكمومي معاً .

لقد شرحتُ مبادئ التناظر لأنها تعطي النظريات نوعاً من المتانة . وأنت قد تظن أن إدخال التناظرات عملية احتياطية ، أي أن الفيزيائيين يهدفون إلى تطوير نظريات قادرة على توصيف تشكيلة واسعة من الظواهر لعلهم يكتشفون نظريات فيها أكبر قدر ممكن من المرونة ــ نظريات ذات مغزى في ظروف متاحة كثيرة . ولئن كان ظنك صحيحاً في علوم عديدة ، إلا أنه غير صحيح في هذا النوع من الفيزياء الأساسية . فنحن هنا على طريق شيء عالمي الشمول ــ شيء يحكم مسيرة الظواهر الفيزيائية في هذا الكون كله ــ شيء نسمية قوانين الطبيعة . ولا نريد أن نقتصر على اكتشاف نظرية قادرة على توصيف كل ما نتصور من

* الأبيض يسمى أخضر في أوربا ولدى عدد من الفيزيائيين الأمريكيين . المترجم

أنواع القوة المتبادلة فيما بين جسيمات الطبيعة . بل نأمل في العثور على نظرية سوف تتيح لنا أن نفهم فقط بشكل متين تلك القوى ــ الثقالية والكهرضعيفة والشديدة ــ التي اتفق لها أن توجد كما هي فعلاً . وهذا النوع من المتانة في نظرياتنا الفيزيائية جزء مما نسميه جمالاً .

ليست مبادئ التناظر وحدها هي التي تمنح المتانة لنظرياتنا . ولو اقتصرنا على هذه المبادئ كأساس لما توصَّلنا إلى نظرية الكهرضعيفة أو إلى الكرومودياميك الكمومي ، إلا أن اعتبار أنهما حالة خاصة من تشكيلة عريضة هي نظريات ذات عدد لا يحصى مما نتدبر أمره من ثوابت يمكن أن توضع ضمن النظريات وتُعطى أخرى أعقد منه وتستجيب لمبادئ التناظر نفسها ، وهو شرط أن تنتفي كل اللانهائيات التي تظهر في الحسابات المعتمدة على النظرية (أي أن النظرية يجب أن تكون « قابلة لإعادة الاستنظام ») . وقد تبين أن هذا الشرط يفرض درجة عالية من البساطة على معادلات النظرية وهو ، بالتضافر مع شتى التناظرات الموضعية ، يقطع بنا مسافة طويلة نحو إعطاء شكل وحيد لنموذجنا المعياري في الجسيمات العنصرية .

إن الجمال الذي نجده في النظريات الفيزيائية ، كالنسبية العامة أو النموذج المعياري ، يشبه كثيراً الجمال الذي يعطيه شعورنا بالكمال إزاء بعض الأعمال الفنية ــ شعور المرء بأنه لا يريد أن تتغير أية نغمة أو أية ضربة فرشاة أو أي خط . فهذا الشعور بالكمال هو ، كتقديرنا للمعزوفة الموسيقية أو اللوحة الزيتية أو القصيدة الشعرية ، قضية ذوق وخبرة ولا يمكن اختصاره بصيغة رياضية .

كان مختبر لورنس بيركلي ينشر كل عامين كراساً يُجدْول خصائص الجسيمات العنصرية المعروفة حتى تاريخ نشره . فإذا قلتُ إن المبدأ الذي يحكم الطبيعة هو أن الجسيمات العنصرية لها الخصائص المجْدولة في هذا الكراس ، يكون عندئذ من الصحيح المؤكد أن الخصائص المعروفة للجسيمات العنصرية تنبع حتماً من هذا المبدأ . حتى أن هذا المبدأ ذو قدرة على التنبؤ ــ إن كل إلكترون جديد ، أو بروتون ، يُخلق في مختبراتنا سنجده يمتلك الكتلة والشحنة الواردتين في آخر كراس . لكن المبدأ نفسه « قبيح » لدرجة أن لا يشعر أحد بأن شيئاً ما قد تم إنجازه . وهذه القباحة نابعة من افتقاده للبساطة والمحتومية ــ يحوي الكراس آلاف الأعداد ، ويمكن تغيير أي منها دون أن تفقد الانسجام مع المعلومات الأخرى ، فلا توجد صيغة منطقية تضع خطاً فاصلاً بين نظرية تفسير جميلة وبين مجرد جدول معطيات تجريبية ، لكننا نعرف الفرق حين نراه ــ نحن نتطلب البساطة والمتانة في مبادئنا قبل أن نأخذها بعين الجد . وهكذا لا تكون أحكامنا الجمالية مجرد وسيلة لبلوغ الغاية في إيجاد تفسيرات علمية وفي الحكم على صحتها ــ **إنها جزء مما تعنيه لنا كلمة تفسير** .

ومن العلميين آخرون يتهكمون أحياناً على فيزيائيي الجسيمات العنصرية لأن عددها ، كعنصرية ، قد تزايد حتى أصبح يقتضي منا التزود بكراس بيركلي لنتذكر كل ما اكتشفنا منها حتى الآن . لكن عدد الجسيمات بحد ذاته ليس مهماً بل ، كما قال عبد السلام ، ليست الجسيمات أو القوى هي التي تضن بها الطبيعة ، بل المبادئ . فالشيء المهم هو الحصول على مبادئ بسيطة واقتصادية تفسر لماذا هي الجسيمات كما هي . ومن المزعج أننا لم نحصل بعد على نظرية محتومة مكتملة من النوع الذي نريده . ولكن عندما نحصل عليها لن يهمنا كثيراً جداً عدد الأنواع الجسيمية أو القوى التي تتناولها النظرية بالتوصيف ، ما دامت تفعل ذلك بشكل جميل وبمحتومية مستمدة من مبادئ بسيطة .

إن نوع الجمال الذي نجده في النظريات الفيزيائية محدود جداً . إنه ، بمقدار ما استطعت أن أعبر عنه بالكلمات ، جمال البساطة والمحتومية ــ جمال البنيان المثالي ، جمال تناسق الأشياء فيما بينها دون إمكانية أي تغيير ، جمال المتانة المنطقية . إنه الجمال النادر والممتاز ، نوع الجمال الذي نُحسه في التراجيديا الإغريقية . لكنه ليس النوع الوحيد من الجمال الذي نراه في الفن . ومسرحيات شكسبير لا تنطوي على هذا الجمال ، الجمال الذي في بعض قصائدها على كل حال . فغالباً ما يختار مخرج مسرحيته أن يحذف جملاً بكاملها . ففي مسرحية هاملت التي أخرجها للسينما لورنس أوليفييه لا يقول هاملت الجملة التالية : « أي متشرد أنا وأي عبد فلاح !... » . ورغم ذلك يبقى أداء المسرحية ناجحاً لأن مسرحيات شكسبير ليست بناءً مسرحياً مثالياً نادراً كالنسبية العامة أو أوديب ريكس ؛ إنها تآليف **ضخمة ذات مأزق ، تعكس مآزقها تعقيدات الحياة . وهذا الجانب من جمال مسرحياته ، وهو جمال** يتفوق في ذوقي على جمال مسرحية سوفوكليس أو جمال النسبية العامة على هذا الصعيد . فبعض أعظم الأوقات لدى شكسبير هي تلك التي يتخلى فيها شكسبير عامداً عن النموذج التراجيدي الإغريقي ويُدخل عنصراً هزلياً من طبقة الكادحين ــ بواب أو بستاني أو بائع تين أو حفار قبور ــ قبل أن تلقى شخصياته الرئيسية مصيرها المحتوم . ومن المؤكد أن جمال الفيزياء النظرية قدوة سيئة جداً للفنون ، ولكنه ، كما هو ، يعطينا المتعة والإرشاد .

وفي الفيزياء النظرية جانب آخر يبدو لي قدوة سيئة للفنون . فنظرياتنا خفية جداً ــ بالضرورة لأننا مضطرون لتطويرها باستخدام لغة الرياضيات التي لم تعد جزءاً من الزاد العام لدى جمهور المثقفين . ولا يحب الفيزيائيون عموماً واقع أن نظرياتهم خفية جداً . وقد اتفق لي بالمقابل أن سمعتُ فنانين يتحدثون متباهين بأن عملهم لا يفهمه إلا زمرة من النخبة ويبررون هذا الموقف من خلال الاستشهاد بالنظريات الفيزيائية كالنسبية العامة التي لا يتاح فهمها إلا للمطلعين . والفنانون كالفيزيائيين قد لا يكونون دوماً قادرين على شرح نظرياتهم بشكل

مفهوم للجمهور العام، ولكن أن يكون هذا التستر مقصوداً لذاته فموقف سخيف بكل معنى الكلمة.

ورغم أننا نبحث عن نظريات تكون جميلة بسبب ما تفرضه عليها المتانة من مبادئ أساسية بسيطة، فإن اختراع نظرية ليس مجرد استنتاجها رياضياً من مجموعة مبادئ سالفة. فمبادئنا غالباً ما تُخترع في طريق العمل، وأحياناً لأنها تقود بشكل محتوم إلى نوع المتانة الذي نرجوه. وأنا ليس عندي أي شك في أن أحد أسباب سرور أينشتاين من فكرة تكافؤ الثقالة والعطالة كان أن هذا المبدأ لا يقود إلا إلى نظرية واحدة في الثقالة متينة جداً، لا إلى تشكيلة كبيرة جداً من نظريات ثقالية ممكنة. هذا وإن استخلاص النتائج من مجموعة مبادئ فيزيائية مصوغة بنصوص جيدة يمكن أن يكون عملية صعبة أو سهلة. ولكنه نوع من الممارسة يتعلمه الفيزيائيون في الدراسة فوق الجامعية ويستمتعون به عموماً. لكن اختراع مبادئ فيزيائية **جديدة** عملية شاقة ويبدو أن تعليمها غير ممكن.

ومن الغريب، ورغم أن جمال النظريات الفيزيائية منطوٍ في بنى رياضية متينة تقوم على مبادئ أساسية بسيطة، أن البنى التي تتمتع بهذا النوع من الجمال تظل أحياناً قائمة حتى ولو تبين أن المبادئ خاطئة. وكمثال جيد نسوق نظرية ديراك في الإلكترون. فقد حاول ديراك عام ١٩٢٨ أن يعيد صياغة نسخة شرودنغر من ميكانيك الكم بلغة أمواج جسيمية ليحصل على نسخة تتفق مع نظرية النسبية الخاصة. وقد قادته هذه الجهود إلى استنتاج أن الإلكترون لا بد أن يمتلك سبيناً (تدويماً على نفسه) وأن العالم مفعم بإلكترونات غير مرئية ذات طاقة سالبة يمكن أن يتخذ في المختبر **خفاؤها** في نقطة خاصة شكلَ حضور مرئي للإلكترون ذي شحنة موجبة، أي جسيم مضاد للإلكترون. وقد اكتسبت نظريته سمعة عظيمة حين تم اكتشاف جسيم مضاد من هذا القبيل تماماً عام ١٩٣٢، في الأشعة الكونية، وهو البوزترون ذو الشحنة الموجبة. فكانت نظرية ديراك ذات نكهة أساسية في نسخة الإلكتروديناميك الكمومي التي طُورت وطُبقت في الثلاثينيات والأربعينيات. فنحن نعلم اليوم أن وجهة نظر ديراك كانت خاطئة إلى حد بعيد، لأن البيئة المناسبة للتوفيق بين ميكانيك الكم والنسبية الخاصة ليست ذلك النوع من النسخة التي كانت يبحث عنها ديراك لمعادلة شرودنغر في الميكانيك الموجي، بل هي التشكيل الأعم المعروف باسم نظرية الحقل الكمومية التي قدمها هايزنبرغ وباولي عام ١٩٢٩. وفي هذه النظرية ليس الفوتون وحده رزمة طاقة الحقل الكهرطيسي، بل إن الإلكترون والبوزترون هما أيضاً رزم طاقة الحقل الإلكتروني. وكل الجسيمات العنصرية الأخرى هي رزم طاقة لحقول متنوعة أخرى. وقد كانت شبه مصادفة أن أعطت نظرية ديراك في الإلكترون النتائج نفسها التي أعطتها نظرية

الحقل الكمومية في حال عمليات لا تتناول سوى الإلكترونات والبوزترونات والفوتونات فرادى أو مجتمعة . **لكن نظرية الحقل الكمومية أعم ــ إنها تستطيع أن تفسر عمليات ، كالتفكك** النووي البيتاوي ، لا يمكن فهمها في إطار نظرية ديراك ؛ إذ لا يوجد في نظرية الحقل الكمومية أي شيء يتطلب أن تمتلك الجسيمات أي سبين معين . ولئن اتفق للإلكترون أن يمتلك السبين الذي تقتضيه نظرية ديراك ، إلا أن هناك جسيمات أخرى ذات سبينات أخرى ، وهذه الجسيمات الأخرى لها جسيمات مضادة وليس لهذا أية صلة بالطاقات السالبة التي تكهن بها ديراك . ومع ذلك ظلت **رياضيات** نظرية ديراك قائمة كجزء أساسي من نظرية الحقل الكمومية ؛ ولا بد من تعليمها في الدروس فوق الجامعية التي تتناول ميكانيك الكم المتقدم . أي أن البنية الشكلية لنظرية ديراك قد نجت من موت المبادىء النسبوية لميكانيك الكم ، المبادىء التي اتبعها ديراك في طريقه إلى نظريته .

وهكذا اكتسبت البنى الرياضية ، التي طورها الفيزيائيون باحترام المبادىء الفيزيائية ، نوعاً عجيباً من قابلية التنقل . فهي يمكن الآن نقلها من بيئة فكرية إلى أخرى والاستفادة منها لأغراض شتى ؛ كعظام كتفك الرشيقة التي تقدر لها في حيوان آخر أن تصبح صلة الوصل المتمفصل بين جناح الطير وبدنه أو بين زعنفة الدلفين وبدنه . فنحن قد وصلنا إلى هذه البنى الجميلة بواسطة مبادىء فيزيائية ؛ لكن الجمال ينجو أحياناً بعد أن تلقى المبادىء حتفها .

وكتفسير لذلك نسوق ما قاله بور عندما تكهن عام ١٩٢٢ بمستقبل نظريته السابقة في بنية الذرة ؛ فقد ذكر أن « الرياضيات ليس لها سوى عدد محدود من الأشكال نستطيع أن نكيفها مع الطبيعة ، وقد يتفق لأحد الناس أن يجد الأشكال الصحيحة انطلاقاً من أفكار خاطئة برمتها » . وقد اتفق فعلاً أن بور كان على صواب بخصوص مستقبل نظريته ؛ فقد تم التخلي عن مبادئه الأساسية ، لكننا ما زلنا نستخدم تعابيره وطرائق حسابه .

وفي هذا الواقع بالضبط ، واقع ملاءمة الرياضيات البحتة للفيزياء ، يتجلى جانب الأحكام الجمالية الذي يثير العجب أكثر من أي جانب جمالي آخر . وقد أصبحت الرغبة في بناء تشكيلات رياضية جميلة على الصعيد الفكري عادة شائعة توجِّه الرياضيين في أعمالهم . وبهذا الصدد يقول الرياضي الإنكليزي هاردي بأن « الصور الرياضية ، كصور الرسامين أو الشعراء ، يجب أن تكون جميلة . ويجب أن تكون الأفكار ، كالألوان أو الكلمات ، متناسقة معاً بالتناغم . فالجمال هو الاختيار الأول . ولا يوجد مكان دائم للرياضيات القبيحة » . وما تزال البنى الرياضية ، التي يتقصد الرياضيون تطويرها بالبحث عن نوع جمالي ما ، تتجلى للفيزيائيين فيما بعد ، وفي غالب الأحيان ، ذات قيمة عظيمة .

دعونا، على سبيل الإيضاح، نعد إلى مثال الهندسة الإقليدية والنسبية العامة. فبعد إقليدس حاول الرياضيون على مدى ألفي عام أن يعلموا ما إذا كانت الفرضيات الأساسية في الهندسة الإقليدية مستقلة منطقياً بعضاً عن بعض. وإذا كان الجواب نفياً، أي إذا كان بالإمكان استنتاج بعضها من الأخريات، يمكن عندئذ إسقاط الفرضيات غير الضرورية، مما يعطينا هندسة ذات صياغة أكثر اقتصاداً وبالتالي أكثر جمالاً. وقد بلغت هذه الجهود ذروتها في السنين الأولى من القرن التاسع عشر حين طور «أمير الهنادسة»، كارل فريدريش غوص، وسواه هندسة غير إقليدية لنوع منحن من الفضاء يستجيب لكل فرضيات إقليدس باستثناء الخامسة؛ فتبين أن هذه الخامسة مستقلة منطقياً عن الأخريات بالفعل. وقد طُورت هذه الهندسة الجديدة لحسم قضية بخصوص أسس الهندسة، لا لأن أحد الناس قد فكر بأنها تنطبق على العالم الواقعي.

ثم تناول الهندسة غير الإقليدية واحد من أعظم الرياضيين جميعاً، جورج فريدريش برنارد ريمان، فجعل منها نظرية عامة في الفضاءات المحنية ذات البعدين أو الثلاثة أو أي عدد من الأبعاد. واستمر الرياضيون في العمل في هندسة ريمان لأنها كانت جميلة، ودون أية فكرة عن تطبيقات فيزيائية لها. كان جمالها، هي الأخرى وبمعظمه، جمال المحتومية. فبمجرد أن ينطلق تفكيرك نحو الفضاءات المنحنية ستُضطر بشكل شبه محتوم إلى إدخال كميات رياضية («المتريات metries»، «الترابطات الاقترانية affin connections»، «تنسورات الانحناء»، إلخ) هي مقوِّمات الهندسة الريمانية. وعندما راح أينشتاين ينشىء النسبية العامة أدرك أن الطريقة الوحيدة لصوغ أفكاره عن التناظر الذي يربط ما بين مراجع المقارنة المختلفة تقضي بأن يعزو الثقالة إلى انحناء الزمكان. فسأل صديقه مارسيل غروسمان عما إذا كان يوجد نظرية رياضية للفضاءات المنحنية — ليس فقط للسطوح المنحنية ذات البعدين في الهندسة الإقليدية ذات الأبعاد الثلاثة المكانية، ولكن حتى في الفضاءات الزمكانية ذات الأبعاد الأربعة. عندئذ أعطاه غروسمان الخبر الجيد بأن هناك فعلاً مثل هذا التشكيل الرياضي الذي صنعه ريمان وآخرون، ثم علَّمه هذه الرياضيات التي أدخلها أينشتاين حينئذ في النسبية العامة. كانت الرياضيات تنتظر هناك قدوم أينشتاين كي يستخدمها، رغم أنني أعتقد أن غوص وريمان وسواهما من هنادسة التفاضل في القرن التاسع عشر لم يكن قد خطر ببالهم بتاتاً أن أعمالهم سيكون لها ذات يوم تطبيق على نظريات فيزيائية في الثقالة.

وكمثال أعجب من هذا أذكر تاريخ مبادئ التناظر الداخلي. ومبادئ التناظر الداخلي تفرض نوعاً من البنية الأسروية على قائمة جسيمات ممكنة الوجود. وأول مثال معروف على أسرة من هذا القبيل جاء من نوعين جسيميين تتألف منهما النوى الذرية:

البروتون والنترون . فللبروتونات والنترونات كتلة تكاد تكون واحدة تماماً . وبمجرد أن اكتشف جيمس شادويك النترون عام ١٩٣٢ كان من الطبيعي الاعتقاد بأن القوى النووية الشديدة (التي تسهم في كتلتي البروتون والنترون) يجب أن تحترم تناظراً بسيطاً هو : يجب على المعادلات التي تحكم هذه القوى أن تحتفظ بشكلها إذا بادلنا في هذه المعادلات ما بين النترونات والبروتونات . وهذا يعني من جملة ما يعنيه أن القوة النووية الشديدة هي نفسها ، سواء بين نترونين أو بين بروتونين ، لكننا لا نعلم منه أي شيء عن القوة بين بروتون ونترون . فكان من قبيل المفاجأة عندما أسفرت التجارب عام ١٩٣٦ عن أن القوة بين بروتونين هي القوة نفسها بين بروتون ونترون . فتولدت من هذا الواقع فكرة تناظر يذهب إلى أبعد من مجرد تبادلات دوري البروتونات والنترونات ، تناظر إزاء التحولات المستمرة التي تغيِّر البروتونات والنترونات إلى جسيمات هي مزائج « بروتوترونية » يُحتمل أن تكون بروتونية أو نترونية على حد سواء .

إن هذه التحولات التناظرية تتناول اسم الجسيم ، الاسم الذي يميز البروتونات النترونات ، بطريقة رياضية لا تختلف بتاتاً عن الطريقة التي تتناول بها الدورانات العادية في الفضاء العادي سبينات (تدويمات) جسيمات كالبروتون أو النترون أو الإلكترون . ومن فكرة هذا المثال ، وحتى أواخر الستينيات ، كان عدة فيزيائيين يعتقدون أن التحولات التناظرية الداخلية ، التي تحتفظ لقوانين الطبيعة بشكلها ، يجب أن تتخذ شكل دورانات في فضاء داخلي ذي بعدين أو ثلاثة أو أكثر ، وكأنها دورانات تجعل البروتون نتروناً أو بالعكس . وقلما كانت الكتب التعليمية المتوفرة في الفيزياء آنذاك (بما فيها كتب فايل وفغنر) تذكر أية إشارة إلى وجود إمكانيات رياضية أخرى . ولم يحدث ، قبل اكتشاف جسيمات كثيرة جديدة في الأشعة الكونية ثم بالمسرعات في أواخر الخمسينيات كما حدث في بيفاترون بيركلي ، أن دخلت في الفيزياء النظرية وجهة نظر أوسع من ذي قبل بخصوص إمكانيات وجود تناظرات داخلية . فقد بدا أن هذه الجسيمات تقع في أُسَر أوسع من مجرد الزوجين التوأمين بروتون — نترون . فقد اكتُشف مثلاً أن النترون والبروتون لهما شبه أسروي قوي بستة جسيمات أخرى معروفة باسم هيبيرونات لها السبين نفسه وكتلة مماثلة . فما هو نوع التناظر الداخلي الذي يمكن أن يبرر وجود مجموعات عديدة متصلة بالنظرية ؟

في عام ١٩٦٠ بدأ الفيزيائيون الذين يمارسون هذه المسألة يفتشون في المجلات الرياضية . ولحسن حظهم فوجئوا بأن الرياضيين كانوا إلى حدٍ ما قد صنفوا لتوهم كل التناظرات الممكنة . فوجدوا أن كل التحويلات التي تدع كل شيء على حاله ، سواء كان هذا

الشيء جسماً أو قانوناً من قوانين الطبيعة، تشكل بنية رياضية أسموها **مجموعة**، وأن رياضيات هذه التحويلات التناظرية تسمى **نظرية المجموعات**. كانت كل مجموعة تتميز بقواعد رياضية تجريدية لا علاقة لها بماهية الشيء الذي يتحول، أي بالضبط على غرار قواعد الحساب العددي التي لا علاقة لها بماهية ما نجمع أو نضرب. فتبين أن قائمة الأنواع الأُسروية المصنفة على أساس كل تناظر معين في قوانين الطبيعة محكومة تماماً بالبنية الرياضية للمجموعة التناظرية.

وهذه المجموعات، مجموعات التحولات التي تحصل بشكل استمراري، كالدورانات في الفضاء العادي أو امتزاج الإلكترونات والنترينوات في نظرية الكهرضعيفة، تسمى **مجموعات لاي** Lie groups، باسم الرياضي النرويجي سوفوس لاي. وكان الرياضي الفرنسي إيلي كارتان قد أعطى في أطروحته عام ١٨٩٤ قائمة بكل مجموعات لاي «البسيطة» التي يمكن أن تُصنع منها كل مجموعات لاي الأخرى بتركيب تحولاتها. وفي عام ١٩٦٠ وجد غيلمان ويوفال نيمان، كل على حدة، أن إحدى مجموعات لاي البسيطة (المعروفة بالرمز SU(3)) كانت ملائمة بالضبط لفرض بنية أسروية على حشد الجسيمات العنصرية تشبه كثيراً ما كان قد اكتُشف تجريبياً. وعندئذ استعار غيلمان تعبيراً من الديانة البوذية وسمّى هذا المبدأ التناظري باسم الطريقة الأثمونية eightfold، لأن الجسيمات المعروفة جيداً تقع في أُسر ذات ثمانية أعضاء، مثل أسرة النترون والبروتون وأقربائهما الستة. لم تكن كل الأُسر كاملة آنذاك؛ كان يوجد حاجة لجسيم جديد يتمم أسرة ذات عشرة جسيمات تشبه النترونات والبروتونات والهيبيرونات ولكنها ذات سبين أكبر بثلاث مرات. وكان اكتشاف هذا الجسيم المتوقع عام ١٩٦٤ في بروكهيفين، وبالكتلة التي قدّرها غيلمان، نجاحاً كبيراً لهذا التناظر الجديد: SU(3).

لكن الرياضيين كانوا قد اخترعوا نظرية المجموعات هذه، التي تبينت ملاءمتها للفيزياء، لأسباب رياضية داخلية فقط. فقد بدأت نظرية المجموعات في أوائل القرن التاسع عشر على يدي إيفاريست غالوا في أثناء البرهان على عدم وجود صيغ عامة لحل بعض المعادلات الجبرية (المعادلات التي تنطوي على الكمية المجهولة مرفوعة إلى الأس خمسة أو أكثر). ولم يكن عند غالوا أو لاي أو كارتان أية فكرة عن نوع التطبيق الذي ستحظى به في الفيزياء نظرية المجموعات.

إن من العجيب أن يسترشد الرياضيون بشعورهم بالجمال الرياضي لصنع بنى شكلية لا يجد فيها الفيزيائيون فائدة إلا في زمن متأخر، ولو لم تكن قد خطرت مثل هذه الفائدة ببال الرياضيين. وللفيزيائي فغنر مقولة معروفة ترى في هذه الظاهرة «فعالية للرياضيات غير

معقولة». ويجد الفيزيائيون عموماً أن مقدرة الرياضيين في استباق الحاجات الرياضية للنظريات الفيزيائية شيء خارق تماماً، كما لو أن نيل أرمسترونغ قد وجد عام ١٩٦٩، حين وطئت قدماه سطح القمر، آثار خطا جول فيرن على غبار القمر.

أين يجد الفيزيائي **عملياً** الشعور بالجمال الذي لا يساعد فقط في اكتشاف نظريات بخصوص العالم الواقعي، بل وحتى في الحكم على صلاح النظريات الفيزيائية، وأحياناً رغم تعارض التجربة معها، وكيف أيضاً يشعر الرياضي بالجمال الذي يقود إلى بنى ستكون ذات قيمة للفيزيائيين بعد عشرات السنين أو مئاتها، رغم أن الرياضي قد لا يعبأ بالتطبيقات الفيزيائية؟

يبدو لي أن هناك ثلاثة تفسيرات معقولة، اثنين منها ينطبقان على كثير من العلوم، أما الثالث فمقصور على المجالات الفيزيائية الأساسية جداً. فالتفسير الأول هو أن العالَم نفسه يفعل بنا وكأنه آلة تعليمية عشوائية غير ذات كفاءة، ومع ذلك فعالة على المدى الطويل. وهذا بالضبط على شاكلة سلسلة لا نهاية لها من الحوادث التي تطرأ على ذرات الكربون والآزوت والأكسيجين والهدروجين فتجمعها معاً لتشكل الأشكال الأولية لحياة تتطور فيما بعد إلى الحيوانات الأوالي والأسماك والبشر، كما تطور أسلوب نظرتنا إلى العالم بالتدريج من خلال انتخاب طبيعي للأفكار. فبعد كثير جداً من المنطلقات الخاطئة اكتسبنا اليقين بأن الطبيعة تتصرف بطريقة معينة، ونشأنا ونحن نرى في هذه الطريقة أن الطبيعة جميلة جداً.

إنني أعتقد أن هذا هو التفسير الذي يراه كل امرئ للمساعدة التي يتلقاها مدرب الخيل من إحساسه بالجمال عندما يساعده ذلك فعلاً في الحكم على الحصان المرشح للفوز في سباق الخيل. فمدرب خيل السباق ذو خبرة طويلة في مجال عمله ــ لقد اختبر عدة جياد منها الفائز ومنها الخاسر ــ أتاحت له أن يربط بين بعض العوامل البصرية وبين توقع الحصان الفائز، ودون أن يقدر على التعبير عن ذلك بوضوح.

إن أحد الأسباب التي تجعل العلم ذا سحر دائم هو متابعة تثقيف أنفسنا البطيء في نوع الجمال الذي نتوقعه في الطبيعة. فقد عُدت ذات يوم إلى النشرات الأصلية في الثلاثينيات حول مبدأ التناظر الداخلي في الفيزياء النووية، التناظر الذي ذكرته سابقاً بين النترونات والبروتونات، وذلك كي أعثر على أول مقالة بحث تعرض هذا المبدأ التناظري بالطريقة التي يجب اتباعها اليوم، أي كواقع أساسي في الفيزياء النووية قائم بذاته، مستقل عن أية نظرية تفصيلية في القوى النووية. فلم أستطع أن أعثر على مقالة من هذا القبيل، ويبدو أن ذلك لم يكن بتاتاً في الثلاثينيات شكلاً جيداً لكتابة النشرات. بل إن الشكل الجيد كان أن

تُكتب نشرات الفيزياء النووية . وإذا تبين أن القوى تمتلك تناظراً معيناً فذلك أحسن ، لأنك إذا عرفت القوة بين البروتون والنترون لن يكون عليك أن تحزر القوة بين بروتونين . لكن مبدأ التناظر نفسه لم يكن يُعتبر ، حسب معلوماتي ، سمة من شأنها أن تمنح شرعية للنظرية ــ أن تجعل النظرية جميلة . بل كانت مبادئ التناظر تُعتبر حيلاً رياضية ؛ أما وظيفة الفيزيائيين الحقيقية فهي استخراج التفاصيل الدينامية للقوى التي نرصدها .

لكن شعورنا مختلف اليوم . فإذا تيسر للنظريين أن يكتشفوا جسيمات جديدة تشكل أُسراً من هذا النوع أو ذاك ، كالتوأمين بروتون نترون ، عندئذ يجب أن يمتلئ البريد فوراً بمئات مشاريع النشر من المقالات النظرية التي تتكهن بنوع التناظر الذي يكمن في أساس هذه البنية الأُسروية . وإذا حصل اكتشاف نوع قوة جديد نُهرع كلنا إلى التكهن بالتناظر الذي يفرض وجود تلك القوة . وواضح هنا أننا تغيرنا بما فعل بنا العالم كآلة تعليمية فرضت علينا إحساساً بالجمال لم يكن موجوداً فينا عند الولادة .

إن الرياضيين أنفسهم يعيشون في العالم الواقعي ويستجيبون لدروسه . كانت هندسة إقليدس تُعطى لتلاميذ المدارس ، وعلى مدار ألفي عام ، كنموذج شبه مثالي من المحاكمة الاستنتاجية التجريدية ؛ لكننا تعلمنا في هذا القرن من النسبية العامة أن الهندسة الإقليدية لا تعمل عملها الذي نعرفه إلا لأن الحقل الثقالي على سطح الأرض ضعيف نسبياً بما يجعل الفضاء الذي نعيش فيه غير ذي انحناء محسوس . وإقليدس كان يعمل كفيزيائي عندما كان يصوغ فرضياته ، فاستعمل خبرته في الحياة ضمن الحقول الثقالية في الاسكندرية الهيلينية ليصنع نظرية في فضاء غير منحن . ولم يكن يدري كم كانت هندسته محدودة ومشروطة . والواقع أننا لم نتعلم إلا مؤخراً كيف نميز بين الرياضيات البحتة والعلم الذي تنطبق عليه . وكرسي الاستاذية الذي كان يحتله نيوتن في جامعة كمبردج ثم ديراك كان (وما يزال) رسمياً كرسي رياضيات ، لا كرسي فيزياء . ولم يعتبر الرياضيون عملهم نشاطاً فكرياً صرفاً يجب أن يكون مستقلاً عن الخبرة والحس العام إلا بعد أن طور أوغستان لوي كوشي وسواه في أوائل القرن التاسع عشر أسلوباً صارماً رياضياً تجريدياً .

إن ثاني أسباب توقعنا أن يكون الجمال حليف النظريات العلمية الناجحة هو ببساطة أن رجال العلم يسعون إلى اختيار مسائل يُحتمل أن يكون لها حلول جميلة . وهذه المقولة تنسحب حتى على صديقنا مدرب خيل السباق . فهو يدرب الخيل على الفوز ؛ وقد تعلَّم كيف يميز الجياد التي يُحتمل أن تفوز ويقول إنها جياد جميلة ؛ ولكنك لو تنحيت به جانباً ووعدته بأن لا تخبر أحداً بما يقوله ، فقد يعترف لك بأن سبب استمراره في مهنة تدريب خيل

السباق على الفوز يعود بالدرجة الأولى إلى أن الجياد التي يختارها ليدربها هي حيوانات جميلة جداً .

وفي الفيزياء مثال جيد مستمد من ظاهرة الانتقالات الطورية الملساء(*) ، كزوال المغنطيسية تلقائياً عندما نسخن مغنطيساً حديدياً دائماً إلى درجة أعلى من ٧٧٠ مئوية ، وهي السخونة المعروفة باسم نقطة كوري . ولما كان هذه الانتقال أملس فإن تمغنط قطعة الحديد يهبط إلى الصفر بالتدريج مع اقتراب السخونة من نقطة كوري . والمدهش في هذه الانتقالات الطورية هو **طريقة** هبوط التمغنط نحو الصفر . وتقدير مختلف الطاقات في المغنطيس قاد الفيزيائيين إلى توقع أن يصبح التمغنط ، عندما تكون السخونة دون نقطة كوري بقليل فقط ، متناسباً تماماً مع الجذر التربيعي للفرق بين نقطة كوري ودرجة حرارة الحديد . **ولكن بدلاً من ذلك لاحظ التجريبيون أن التمغنط متناسب مع هذا الفرق مرفوعاً إلى الأُس ٣٧ر٠ ؛ وهذا يعني أن علاقة التمغنط بالسخونة يقع بين التناسب مع الجذر التربيعي (الأُس ٥ر٠) وبين التناسب مع الجذر التكعيبي (الأُس ٣٣ر٠) للفرق بين نقطة كوري ودرجة** حرارة الحديد .

تسمى الأُسس التي من قبيل ٣٧ر٠ باسم **الأُسس الحرجة**، وأحياناً بالصفة « لا تقليدي » أو « الشاذ » ، لأنها لم تكن متوقعة . وقد تبين أن كميات أخرى تتصرف بهذا الشكل في هذا الانتقال وفي انتقالات طورية أخرى . إن هذا الشذوذ ليس ظاهرة سحرية أصيلة ، كالثقوب السوداء أو توسع الكون . ومع ذلك اشتغل بعض ألمع الفيزيائيين النظريين في العالم على الأسس الحرجة إلى أن حُلَّت المسألة تماماً عام ١٩٧٢ على يدي كينيث ويلسون وميكائيل فيشر (كانا في كورنيل حينئذ) . فقد كان يمكن التفكير بأن الحساب الدقيق لنقطة كوري كان بحد ذاته مسألة ذات أهمية عملية كبيرة . فلماذا كان على قادة نظرية المادة الكثيفة أن يولوا مسألة الأسس الحرجة كل هذه الأفضلية ؟

أعتقد أن هذه المسألة قد أثارت اهتمام الكثير من الفيزيائيين لأنهم شعروا أن من المحتمل أن يكون لها حل جميل . والذي أوحى لهم بأن هذا الحل سيكون جميلاً كان قبل كل

---

* إن ما أُسميه هنا انتقالات طورية « ملساء » تسمى غالباً « انتقالات طورية من الرتبة الثانية » لتمييزها عن « الانتقالات الطورية من الرتبة الأولى » كغليان الماء عند ١٠٠ درجة مئوية أو انصهار الجليد عند الصفر المئوي ، حيث تتغير خصائص المادة بشكل تقطعي ؛ ولا بد من صرف الطاقة (تسمى الحرارة اللاطية) لتحويل جليد في الصفر المئوي إلى ماء في الصفر المئوي أيضاً ، أو تحويل ماء في ١٠٠ درجة مئوية إلى بخار بالدرجة نفسها . لكن لا تلزم طاقة إضافية لإزالة المغنطيسية عن الحديد عندما تكون درجة حرارته عند نقطة كوري بالضبط (انتقال أملس) .

شيء شمولية الظاهرة، أي واقع أن الأسس الحرجة نفسها لا بد أن تبرز في مسائل أخرى عديدة جداً، وكذلك أن الفيزيائيين قد تعودوا اكتشاف أن معظم الخصائص الأساسية للظواهر الفيزيائية تتجلى في أغلب الأحيان بشكل قوانين تربط الكميات الفيزيائية بأسس ذات قيم أخرى، كقانون مقلوب مربع المسافة في الثقالة. وقد تبين أن نظرية الأسس الحرجة كانت من البساطة والمحتومية لدرجة جعلتها واحدة من أجمل النظريات في الفيزياء كلها. وبخلاف ذلك ما تزال مسألة الحساب الدقيق لدرجات حرارة الانتقالات الطورية مسألة شائكة يتطلب حلها تفاصيل الحديد المعقدة وسواه من المواد التي تعاني انتقالاً طورياً؛ ولهذا السبب صارت تُدرس إما بسبب أهميتها العملية أو عندما لا يوجد شيء أحسن منها.

وقد تبين في بعض الأحوال أن آمال العلميين الأولى، في نظرية جميلة، لم تكن في محلها. وكمثال جيد على ذلك نذكر الترميز الجيني في البيولوجيا. فقد شرح فرانسيس كريك في سيرة حياته الشخصية كيف انصبت عناية البيولوجيين الجزيئيين، بعد اكتشاف البنية اللولبية المزدوجة للدنا (DNA) على يديه ويدي جيمس واطسون، على فك هذا الترميز الذي بواسطته تتفهم الخلية سرَّ تعاقب الوحدات الكيميائية على لولبي الدنا كوصفة لصنع جزيئات البروتين المناسبة. فقد كان معروفاً أن البروتينات تُصنع من سلاسل حموض أمينية، وأن فيها عشرين حمضاً أمينياً فقط من ذوات الأهمية في كل النباتات والحيوانات تقريباً، وأن المعلومات اللازمة لانتخاب كل تعاقب للحموض الأمينية في جزيء البروتين محمولة على مجموعة خيارات أفرادها ثلاثة زوجين من وحدات كيميائية، تسمى أُسساً، لا يوجد منها سوى أربعة أنواع متخالفة. وهكذا يُعبِّر الترميز الجيني عن ثلاثة سحوب متعاقبة كل واحد منها مختار من أربعة زوجين من أسس متاحة (مثل ثلاثة أوراق لعب تُسحب بالتعاقب من مجموعة أوراق لعب لا تحوي سوى طواقم النقوش الأربعة وبدون أرقام أو صور) كي يفرض كلَّ اختيار لواحد من عشرين حمضاً أمينياً يضاف إلى البروتين. وقد اخترع البيولوجيون الجزيئيون كل أنواع المبادئ الأنيقة التي يمكن أن تحكم هذا الترميز ــ كمبدأ أن ليس في اختيار الثلاثة زوجين من الأسس أيةُ معلومة تضيع سدى، وأن كل معلومة غير مطلوبة لتعيين ماهية حمض أميني تُستخدم لاكتشاف الخطأ، على شاكلة البيتات الإضافية التي تُرسل بين الحواسيب للتحقق من صحة الانتقالات. لكن تبين أن الجواب الذي عُثر عليه في أوائل الستينيات كان مختلفاً جداً. إذ اتضح أن الترميز الجيني شائك جداً؛ فبعض الحموض الأمينية ضرورية لأكثر من الثلاثة زوجين من الوحدات الأسس. وأن بعضاً من هؤلاء الثلاثيات لا تُنتج أي شيء البتة. إن الترميز الجيني لا يعادل في الرداءة ترميزاً اختير عشوائياً وموحياً بأنه أصاب شيئاً من التحسن في أثناء التطور، بل إن أي مهندس اتصالات

يستطيع أن يصمم ترميزاً أفضل منه ، والسبب في ذلك طبعاً أن الترميز الجيني لم يُصمَّم ؛ بل نشأ عبر سلسلة من الأحداث طرأت عليه في بداية الحياة على الأرض ثم حصل توريثه بهذا الشكل تقريباً إلى كل العضويات اللاحقة . والترميز الجيني تهمنا دراسته طبعاً ، سواء كان جميلاً أم غير جميل ، لكن عدم جماله قضية تحيِّرنا بعض الشيء .

ولئن خذلنا شعورنا الجمالي في بعض الأحيان ، فذلك لأننا نكون قد بالغنا في قيمة الخاصية الأساسية لما نحاول تفسيره . وكمثال مشهور على ذلك نذكر أعمال كبلر على أبعاد مدارات الكواكب .

كان كبلر على علم بواحد من أجمل استنتاجات الرياضيين الإغريق بخصوص ما يسمى مجسمات أفلاطون . إنها أجسام ذات ثلاثة أبعاد ووجوه مستوية ، وكل رأس أو وجه أو حرف فيها يماثل تماماً كل رأس آخر أو وجه أو حرف . والمكعب مثال على ذلك . وقد اكتشف الإغريقيون أن كل الموجود من هذه المجسمات الأفلاطونية خمسة هي : المكعب والهرم المثلثي الوجوه والمجسم ذو الاثني عشر وجهاً والمجسم ذو الثمانية وجوه والمجسم ذو العشرين وجهاً (تسمى أفلاطونية لأن أفلاطون عرضها في تيمايوس كتقابل واحد لواحد بينها وبين العناصر الخمسة ، وهي وجهة النظر التي هاجمها أرسطو فيما بعد) . ومجسمات أفلاطون أول مثال على الجمال الرياضي ؛ وهو من قبيل اكتشاف نوع الجمال نفسه البادي في قائمة كارتان بكل مبادئ التناظر الاستمراري الممكنة .

لقد اقترح كبلر في أحد كتبه أن وجود خمسة مجسمات أفلاطونية فقط يفسر سبب وجود خمسة كواكب فقط (عدا الأرض) : عطارد والزُهرَة والمريخ والمشتري وزحل (الكواكب الأخرى ، أورانوس ونبتون وبلوتو ، اكتُشفت بعد ذلك بكثير) . وفي مقابل كل واحد من هذه الكواكب الخمسة وضع كبلر واحداً من مجسمات أفلاطون وقال بأن نصف قطر كل مدار متناسبٌ مع نصف قطر المجسم الأفلاطوني الذي يقابله عندما تولج المجسمات بعضاً ضمن بعض بالترتيب الصحيح . وقد كتب كبلر أنه اشتغل على شذوذات الحركة الكوكبية « إلى أن أصبحت على الأقل منسجمة مع قوانين الطبيعة » .

قد يبدو لرجل العلم اليوم من قبيل الفضيحة أن يخترع أحد مؤسسي العلم الحديث مثل هذا النموذج المضحك للمنظومة الشمسية . ليس فقط لأن مخطط كبلر لا يتفق مع أرصاد المنظومة الشمسية ، بل والأكثر من ذلك أنه ، كما نعلم اليوم ، ليس من نوع التكهنات التي تناسب هذه المنظومة . لكن كبلر لم يكن بليداً . فهذا النوع من المحاكمة التخمينية الذي أجراه على المنظومة الشمسية يشبه كثيراً جداً صياغة النظريات التي يتناول

فيها فيزيائيو اليوم الجسيمات العنصرية ؛ ولئن كنا لا نربط أي شيء بالمجسمات الأفلاطونية ، إلا أننا نعتقد فعلاً ، على سبيل المثال ، بوجود تقابل بين شتى أنواع القوى الممكنة وبين شتى مفردات التناظرات الممكنة الواردة في تصنيف كارتان . والخطأ الذي ارتكبه كبلر لم يكن في استعمال هذا النوع من التخمين ، بل في افتراضه (كما فعل معظم الفلاسفة قبله) أن الكواكب كائنات مهمة .

صحيح أن الكواكب مهمة من بعض وجهات النظر ؛ فنحن نعيش على أحدها . ولكن وجودها لا يدخل ضمن قوانين الطبيعة في أي مستوى أساسي . ونحن نعلم اليوم أن الكواكب ومداراتها نشأت من حوادث طارئة في تاريخ العالم وأننا ، برغم وجود نظرية فيزيائية تخبرنا عن المدارات المستقرة وعن المدارات المشوشة لا نرى سبباً يجعلنا نتوقع علاقات بسيطة رياضياً وجميلة ضمن اتساعات المدارات .

إننا نتوقع الحصول على أجوبة جميلة عندما ندرس المسائل الأساسية حقاً . ونعتقد أننا ، عندما نتساءل عن سبب كون العالم كما هو ومن ثم عن سبب كون الجواب الذي نجده في نهاية سلسلة تفسيراتنا كما هو ، سوف نعثر على بضعة مبادئ بسيطة ذات جمال جذاب . ويعود سبب ذلك جزئياً ، في رأينا ، إلى أن خبرتنا التاريخية قد علمتنا أننا حين ننفذ ببصيرتنا إلى أعماق الأمور نرى هناك مزيداً ومزيداً من الجمال . وقد كان أفلاطون وأنصاره المتأخرون يقولون بأن الجمال الذي نراه في الطبيعة هو انعكاس لجمال الكائن المطلق : العقل الفياض . وجمال النظريات الحالية هو ، بالنسبة لنا أيضاً ، استباق قبلي وبالبداهة لجمال النظرية النهائية . وعلى كل حال ، فنحن لن نقبل أية نظرية ، على أساس أنها نهائية ، إلا إذا كانت جميلة .

ورغم أننا لا نملك بعدُ أساساً موثوقاً لمعرفة أين نعتمد في عملنا على إحساسنا الجمالي ، ما تزال الأحكام الجمالية في فيزياء الجسيمات العنصرية تبدو لنا جيدة الأداء يوماً بعد يوم . وأنا أرى في ذلك برهاناً على أننا نتحرك في الاتجاه الصحيح ، وربما كنا قاب قوسين من هدفنا .

الفصل السابع

في مواجهة الفلسفة

عندما كنت في شبابي حليفاً
مستديماً بصحبة الحكماء
لم أفز منهم برأي جديد
كل أقوالهم صدى الأولياء
أدهم السمان، رباعيات عمر الخيام(*)

لقد استفاد الفيزيائيون كثيراً جداً من أحكامهم الجمالية الذاتية، الغامضة غالباً، لدرجة أن يُظن أننا ربما نستفيد أيضاً من الفلسفة، التي بفضلها تطورت علومنا على كل حال. فهل يمكن أن تكون الفلسفة دليلاً مرشداً نحو نظرية نهائية؟

إن قيمة الفلسفة في فيزياء اليوم تبدو لي شيئاً يشبه قيمة الدول الأمم الأولى عند شعوبها. ولا نبالغ إلا قليلاً إذا قلنا إن الخدمة الرئيسية التي كانت تقدمها الدول الأمم، قبل دخول مكاتب البريد، كانت تتمثل في حماية شعوبها من دول أمم أخرى. صحيح أن بصائر الفلاسفة قد قدمت في بعض المناسبات خدمة للفيزيائيين، ولكن بشكل سلبي عموماً — بحمايتهم من الأفكار المسبقة لدى فلاسفة آخرين.

وأنا لا أُريد أن استنتج من ذلك أن الفيزياء تُصنع بشكل أحسن بدون أفكار مسبقة. إذ يوجد في كل وقت أشياء كثيرة يمكن استخدامها ومبادئ كثيرة مقبولة يمكن الاعتراض عليها، ولدرجة أن المرء لا يستطيع أن يفعل أي شيء دون أن يكون لديه دليل مستمد من أفكار مسبقة. والواقع أن المبادئ الفلسفية لم تقدم لنا عموماً الأفكار المسبقة الملائمة. والفيزيائيون، في أثناء بحثهم عن نظرية نهائية، أكثر شبهاً بكلاب الصيد منهم بالصقور؛ وقد أصبحت لديهم حاسة شم جيدة يستطلعون بها آثار الجمال الذي يتوقعونه في قوانين الطبيعة، ولكنهم لا يبدون قادرين على رؤية طريق الحقيقة من قمم الفلسفة.

---

* ترجمة شعرية، لإحدى الرباعيات عن ترجمة إدوارد فيتزجيرالد الإنكليزية، بتصرف نظمي لا يُخل بالمعنى. **المترجم**

إن الفيزيائيين يحملون بطبيعة عملهم نوعاً من الفلسفة العملية . وهو لدى معظمهم شعور تقريبي جاهز بالحقيقة الواقعية ، أي اعتقاد بالواقعية الموضوعية لأسس نظرياتهم العلمية . وقد تعلموا ذلك عبر ممارسة البحث العلمي ، لا عبر تعاليم الفلاسفة إلا نادراً .

ولا أعني هنا أن أنكر على الفلسفة كل قيمة ، ولو أنها بمعظمها لا صلة لها بالعلم . ولا أُنكر أيضاً كل قيمة على فلسفة العلم ، ولو أنها تبدو لي بأحسن مظاهرها استقراءاً ممتعاً لتاريخ العلم ومكتشفاته . ولكننا يجب أن لا نتوقع منها أن تزود العلميين اليوم بدليل مفيد يرشدهم إلى كيفية ممارسة أعمالهم أو إلى ما يُحتمل أن يجدوه .

عليَّ أن أعترف بأن ذلك كله معروف حتى لدى عدة فلاسفة . وبهذا الصدد يستنتج الفيلسوف جورج غيل ، بعد أن اطلع على ما كتبه فلاسفة العلم خلال ثلاثة عقود زمنية ، أن « هذه المناقشات شبه الملغوزة ، والمستمدة من الفلسفة المدرسانية ، قد لا تفيد سوى أقل عدد من العلميين الممارسين » . كما لاحظ ويتغنشتاين أن « لا شيء يبدو لي أقل احتمالاً من أن يتأثر عن قناعة أحد العلميين أو الرياضيين ، في طريقة ممارسة عمله ، بما يقرؤه في كتاباتي » .

وليس ذلك مجرد تكاسل ثقافي من طرف العلميين . ولئن كان من قبيل المشقة أن **يضطر المرء إلى إيقاف عمله كي يتعلم أشياء جديدة عليه ، إلا أن العلميين يفعلون ذلك عندما يضطرون . وقد حدث لي مراراً أن اقتطعتُ وقتاً مما كنت أعمله كي أتعلم كل ما احتجت إلى معرفته ،** بدءاً من علم الطوبولوجيت التفاضلية وانتهاءً بنظام تشغيل الحاسوب Ms. DOS . وهذا فقط لأن معرفة الفلسفة لا تبدو ذات فائدة للفيزيائيين ــ دوماً باستثناء أن عمل بعض الفلاسفة يساعدنا في اجتناب أخطار فلاسفة آخرين .

لكن من الإنصاف أن أعترف بحدودي وأهوائي عندما أُصدر هذه الأحكام . فبعد بضع سنوات من افتتاني بالفلسفة ، عندما كنت طالباً جامعياً ، أصبحتُ يائساً منها . كانت وجهات نظر الفلاسفة الذين درستُهم تبدو لي ضبابية وغير مترابطة منطقياً بالمقارنة مع النجاحات الباهرة التي أحرزتها الفيزياء والرياضيات . ومن وقت لآخر منذئذ كنت أُحاول أن أقرأ الأعمال الشائعة في فلسفة العلم . فكنت أشعر أن بعضها قد كُتب بلغة مستعصية على الفهم لدرجة أنني لم أتمالك نفسي من الاعتقاد بأنها تهدف إلى إبهار أولئك الذين يخلطون بين الغموض والعمق . وكانت قراءة بعضها ممتعة ، بل وفكهة أيضاً ، ككتابات ويتغنشتاين وفيراباند . ولكن نادراً جداً ما كان يبدو لي أنها ذات صلة بالعمل العلمي كما عرفته . إذ أن فيراباند مثلاً يرى أن فكرة التفسير العلمي ، التي أنشأها بعض فلاسفة العلم ، ضيقة لدرجة

أن يستحيل معها القول بأن نظرية تفسر نظرية أخرى ؛ وهذا رأي من شأنه أن يترك جيلي من الفيزيائيين الجسيميين فارغي الوفاض من كل عمل .

قد يتبادر لذهن القارئ (لا سيما إذا كان فيلسوفاً ممتهناً) أن رجل العلم الذي لا ينسجم مع فلسفة العلم ، مثلي أنا ، يجب أن ينصرف عن الموضوع بلباقة ويتركه لأهله . إنني أعرف كيف يشعر الفلاسفة إزاء المحاولات التي يضطلع بها العلميون كفلاسفة هواة . لكنني لا أهدف من وراء ذلك إلى أداء دور الفيلسوف ، بل دور عيِّنة من الناس ، دور رجل علم ممارس لا يؤمل اعتناقه للفلسفة لأنه لم يجد ما يساعده عند الفلاسفة المحترفين .. ولست الوحيد في هذا الرأي ؛ بل إنني لم أعرف ، من بين من أسهموا بنشاط في تقدم الفيزياء بعد الحرب ، **أي إنسان** استفاد في أبحاثه فائدة ملموسة من عمل الفلاسفة . وقد ذكرت في الفصل السابق مسألة مما سماه فغنر « الفعالية غير المعقولة » للرياضيات ؛ وأنا أُريد هنا أن أتناول ظاهرة أخرى تساويها في الغرابة وهي « اللافعالية غير المعقولة » للفلسفة .

إن المذاهب الفلسفية ، حتى حيث كانت ذات فائدة للعلميين في الماضي ، كانت متخلفة عموماً بمسافة كبيرة إلى أن أصبح ضررها أكبر من فائدتها . خذ مثلاً مذهب « الآلية » المقدَّس ، فكرة أن الطبيعة تعمل عبر جذب ودفع تقوم بهما الجسيمات المادية والسوائل . لم يكن يوجد في التاريخ القديم مذهب تقدمي أكثر من هذا ، ومنذ عهد ما قبل سقراط بدأ الفيلسوفان ديمقريطس ولوسيبوس تكهناتهما حول الذرات ، بفكرة أن الظواهر الطبيعية ذات أسباب آلية ، وذلك في مواجهة العقائد الشعبية بالآلهة والشياطين . ثم جاء أحد قادة الفرق الدينية ، أبيقور ، بنظرة شاملة آلية في عقيدته وذلك خصوصاً كترياق ضد الاعتقاد بآلهة الأولمب . وعندما جاء ديكارت يشدد ، في ثلاثينيات القرن السابع عشر ، في محاولته العظيمة على فهم العالم فهماً عقلانياً ، أصبح من الطبيعي أن توصف القوى الفيزيائية كالثقالة بطريقة آلية ميكانيكية ، بشكل دوامات تحصل في سائل مادي يملأ الفضاء كله . « لفلسفة ديكارت الميكانيكية » تأثير شديد على نيوتن ، لا لأنها صحيحة (لم يكن يبدو أن ديكارت لديه الفكرة الحديثة عن اختبار النظريات كمياً) بل لأنها تقدم نموذجاً عن نوع النظرية الميكانيكية التي يمكن أن تعطي معنى للطبيعة . وقد بلغت الآلية الميكانيكية أوجها في القرن التاسع عشر مع تفسير الكيمياء والحرارة تفسيراً رائعاً بلغة الذرات . هذا لدرجة أن الميكانيكية ما تزال حتى الآن تبدو للكثيرين مجرد مذهب منطقي يعارض الخرافات . وقد لعبت شمولية المذهب الميكانيكي ، الآلي ، دوراً رائعاً في تاريخ الفكر البشري .

ذلك هو بالضبط الجانب المزعج . ففي العلم ، كما في السياسة أو الاقتصاد ، نجد أنفسنا في خطر كبير من الأفكار الرائعة التي استُنفذت فائدتها . فماضي الميكانيكية الرائع

قد أعطاها مكانة جعلت خلفاء ديكارت يترددون في قبول نظرية نيوتن في المنظومة الشمسية . إذ كيف يمكن للديكارتي الجيد ، الذي يعتقد بأن كل الظواهر الطبيعية يمكن أن تُعزى إلى فعل متبادل فيما بين الأجسام أو الموائع المادية ، أن يقبل رأي نيوتن بأن الشمس تُسلط قوة على الأرض عبر قرابة ١٥٣ مليون كيلو متر من الفضاء الخالي؟ لم يبدأ فلاسفة **أوربا القارّية يشعرون بالارتياح ازاء فكرة الفعل (الفوري) عن بُعد إلا بعد أن دخل الزمن في** صلب القرن الثامن عشر . وفي النهاية سيطرت نظرية نيوتن على القارة الأوربية كما في بريطانيا وهولندا وإيطاليا وفرنسا وألمانيا (بهذا الترتيب) بدءاً من عام ١٧٢٠ . ومن المؤكد أن بعض الفضل في ذلك يعود إلى تأثير فلاسفة كبار ، مثل فولتير وكنط . ولكن هنا أيضاً كانت فائدة الفلسفة من النوع السلبي ؛ فهي لم تساعد إلا في تحرير العلم من قيود الفلسفة بالذات .

وحتى بعد انتصار المذهب النيوتني استمرت الميكانيكية بالازدهار في الفيزياء. فصيغت نظريتا الحقلين ، الكهربائي والمغنطيسي ، اللتين طورهما فاراداي ومكسويل في القرن التاسع عشر ، ضمن إطار ميكانيكي وبلغة توترات تنتشر في وسط فيزيائي كانوا يسمونه الأثير . لم يكن تصرف الفيزيائيين في ذلك العصر تصرفاً أحمق ــ كان عليهم أن يجدوا فكرة تجريبية شاملة تتيح التقدم ، وكان المذهب الميكانيكي يبدو مرشحاً جيداً كسواه . لكنه عاش أكثر مما ينبغي .

لقد حدث التخلي نهائياً عن المذهب الميكانيكي في الكهرطيسية عام ١٩٠٥ حين انتفت فكرة الأثير بفضل نظرية النسبية الخاصة وحل محلها الفضاء الخالي كوسط يحمل النبضات الكهرطيسية . ولكن حتى في ذلك الوقت ظلت النظرة الميكانيكية قائمة لدى الجيل السابق من الفيزيائيين من أمثال الأستاذ فكتور جاكوب مؤلف قصص الخيال العلمي كروايته المثيرة أفكار ليلية عند فيزيائي تقليدي ، فقد كان عاجزاً عن استيعاب الأفكار الجديدة .

كان المذهب الميكانيكي ينتشر أيضاً إلى خارج حدود العلم وظل حياً هناك يثير قلق العلميين . ففي القرن التاسع عشر أُدخل هذا المذهب مع الأسف ضمن المادية الجدلية ، مذهب ماركس وإنغلز وخلفائهما . ثم كتب لينين ، وهو في المنفى عام ١٩٠٨ ، سفراً ضخماً عن المادية ؛ ورغم أن مقصده الأساسي كان مهاجمة الثوريين الآخرين فقد أصبحت تعليقاته المتناثرة نصوصاً مقدسة لدى أتباعه ، وظلت المادية الجدلية لفترة طويلة حجر عثرة في طريق قبول النسبية العامة في الاتحاد السوفييتي . وحتى في عام ١٩٦١ شعر الفيزيائي الروسي المتميز فلاديمير فوك أنه مجبر على الدفاع عن نفسه ضد اتهامه بأنه انحرف عن الأصولية الفلسفية . فقد ورد في مقدمة كتابه «نظرية المكان والزمان والثقالة» المقولة الملحوظة التالية :

«إن الجانب الفلسفي من آرائنا في نظرية المكان والزمان والثقالة قد تشكل بتأثير فلسفة المادية الجدلية، وخصوصاً تحت تأثير مادية لينين ومذهبه في التحليل النقدي المستمد من الخبرة العملية».

لا شيء في تاريخ العلم يتم ببساطة؛ فبالرغم من أن بعد أينشتاين لم يعد يوجد في بحوث الفيزياء الجدية مكان للمذهب الميكانيكي القديم الساذج ظلت بعض عناصر هذا المذهب قائمة في فيزياء النصف الأول من القرن العشرين. فمن جهة أولى كان يوجد جسيمات مادية، كالإلكترونات والنترونات والبروتونات التي صُنعت منها الذرات. ومن جهة ثانية كان يوجد الحقول، كالكهربائي والمغنطيسي والثقالي، المنبعثة من الجسيمات والمتسلطة على الجسيمات. ثم بدأ الفيزيائيون عام ١٩٢٩ يهتمون بنظرة شاملة توحيدية أكثر من ذي قبل. فأتى هايزنبرغ وباولي بتوصيف للجسيمات والقوى على أساس أنها مظاهر خارجية لحقيقة تكمن في مستوى أعمق، مستوى الحقول الكمومية. فقد كان ميكانيك الكم قد طُبق قبل ذلك بعدة سنين على الحقل الكهرطيسي وتم استغلاله لتبرير فكرة أينشتاين بخصوص جسيمات الضوء، الفوتونات، والآن جاء هايزنبرغ وباولي بفرضية تقول بأن كل الجسيمات، لا الفوتونات وحدها، هي رزم طاقية لمختلف الحقول. فالإلكترونات أصبحت، في هذه **النظرية الحقلية الكمومية**، رزم طاقة حقل الإلكترون؛ وأصبحت النترونات رزم طاقة حقل النترينو؛ وهكذا دواليك.

وبرغم هذه العملية التركيبية المدهشة ظل معظم العمل على الفوتونات والإلكترونات منصباً، في الثلاثينيات والأربعينيات، في سياق الإلكتروديناميك الكمومي المثنوي القديم الذي يرى أن الفوتونات رزم طاقة الحقل الكهرطيسي لكن الإلكترونات جسيمات مادية صرفة. وطالما ظل الموضوع مقتصراً على الإلكترونات والفوتونات كانت النتائج تطابق نتائج نظرية الحقل الكمومية. وحين حصلتُ على شهادتي الجامعية كانت نظرية الحقل الكمومية قد أصبحت في الخمسينيات مقبولة بما يشبه الإجماع كإطار خاص للفيزياء الأساسية. ولم تعد وصفة الفيزيائيين في أنحاء العالم تنطوي على قائمة قوامها الجسيمات، بل على أنواع قليلة من الحقول فحسب.

نستطيع أن نستنتج من هذه القصة أن من التهور افتراض أننا نعرف اللغة التي سوف تصاغ بها نظرية نهائية. فقد شكا فاينمان ذات مرة من أسئلة بعض الصحافيين على النظريات المستقبلية بلغة الجسيم المادي النهائي أو التوحيد النهائي لكل القوى، رغم أننا لا نملك في الواقع أية فكرة عما إذا كانت هذة الأسئلة مصوغة بالشكل الصحيح. ويبدو من غير المحتمل أن تُبعث النظرة الميكانيكية القديمة الساذجة إلى الوجود أو أننا سوف نضطر للعودة إلى مثنوية

الجسيمات والحقول؛ بل إن نظرية الحقل الكمومية نفسها ليست مضمونة؛ إذ يوجد مصاعب تحول دون إدخال الثقالة في إطارها، وفي طريق البحث عن مخرج من هذه الصعوبات برزت مؤخراً نظرية مرشحة لمنصب النهائية تقول بأن الحقول الكمومية نفسها ليست سوى مظاهر منخفضة الطاقة من اختلالات زمكانية معروفة باسم أوتار. ومن غير المحتمل أن نعرف نص الأسئلة الصحيحة ما لم نقترب من معرفة الأجوبة.

ورغم أن المذهب الميكانيكي الساذج يبدو ميتاً تماماً فإن الفيزياء ما زالت تعاني من افتراضات مسبقة ميتافيزيائية، غيبية، لا سيما تلك التي تتصل بالمكان والزمان؛ فالمدة الزمنية هي الشيء الوحيد الذي نستطيع قياسه (ولو بشكل غير مثالي) بالفكر وحده، دون تدخل من حواسنا؛ ولذلك يكون من الطبيعي أن نستطيع معرفة شيء ما عن البعد الزمني بالعقل الصرف. كان كنط يقول بأن المكان والزمان ليسا جزءاً من الحقيقة الخارجية، بل هما بناءان موجودان سلفاً في أذهاننا يتيحان لنا أن نقيم صلات بين الأشياء والأحداث. ويرى أنصار كنط أن الصدمة الأشد الناجمة عن نظريات أينشتاين هي أن هذه النظريات تنزل بالمكان والزمان إلى درك مظهرين عاديين من مظاهر العالم المادي، مظهرين يمكن أن يتأثرا بالحركة (في النسبية الخاصة) أو بالثقالة (في النسبية العامة). وما زال يوجد حتى الآن، وبعد مضي قرابة قرن على قدوم النسبية الخاصة، فيزيائيون يعتقدون بأن هناك ما يمكن أن يقال عن المكان والزمان بالاستناد إلى الفكر الصرف.

إن هذه الفيزياء الغيبية تطفو على السطح خصوصاً في مناقشة أصل العالَم. إذ تقول نظرية الانفجار الأعظم المعتَمدة بأن العالم أتى إلى الوجود في لحظة سخونة وكثافة لا نهائيتي العِظَم مضى عليها حتى الآن قرابة عشرة أو خمسة عشر مليار عام. وقد حدث لي مراراً، بمناسبة المحاضرات التي كنتُ أُلقيها عن نظرية الانفجار الأعظم وفي الفترة المخصصة للأسئلة، أن ادَّعى أحد المحاضرين أن فكرة البدء منافية للعقل؛ وحجته في ذلك أن اللحظة التي نقول إنها شهدت بدء الانفجار لا بد أن تكون مسبوقة، أيان حدثت، بلحظة قبلها. وقد حاولت أن أشرح أن هذا ليس صحيحاً بالضرورة. صحيح مثلاً أن البرد، في خبرتنا العادية ومهما كانت شدته، يمكن أن يصبح أشد، ولكن في هذا السياق يوجد شيء يسمى الصفر المطلق؛ ونحن لا نستطيع أن نهبط بالبرودة إلى ما دون الصفر المطلق، لا لأننا لا نملك من المهارة ما يكفي لذلك، بل لأن درجة الحرارة تحت الصفر المطلق ليس لها أي معنى. وقد عرض ستيفن هوكنغ تشبيهاً قد يكون أفضل(★)؛ فلئن كان يوجد معنى لسؤالك عما يوجد

★ لمزيد من الشرح حول هذا الموضوع انظر كتاب هوكنغ الرائع، موجز تاريخ الزمن، الذي ترجمناه إلى العربية في منشورات دار طلاس بدمشق. **المترجم**

شمالي دمشق أو شمالي كمبردج ، فلا معنى لسؤالك عما يوجد شمالي القطب الشمالي . كما أن القديس سنت أوغستان ، المشهور بمناقشة هذه المسألة في كتابه : اعترافات ، يصل بالنتيجة إلى أن من الخطأ السؤال عما كان يوجد قبل أن يخلق الله العالم ، لأن الله ، الذي هو خارج الزمن ، قد خلق الزمن عندما خلق العالم . وهذا رأي كان قد دافع عنه موسى بن ميمون .

عليّ أن أعترف بهذه المناسبة أننا لا نعلم في الواقع ما إذا كان العالم قد بدأ فعلاً في لحظة ماضية محددة ، فقد عرض مؤخراً أندريه لِند وسواه من علماء الكون نظريات معقولة **تصف عالمنا المتوسع حالياً وكأنه فقاعة صغيرة في عالم ضخم لا نهائي القِدم تظهر فيه على** الدوام فقاعات من هذا القبيل وتولِّد فقاعات جديدة . وأنا لا أُحاول هنا أن أُبرهن على أن العالم ذو عمر محدود بلا شك ، بل على أن من غير الممكن أن نقول ، بالاستناد إلى الفكر الصرف ، بأنه ذو عمر غير محدود .

وهنا أيضاً لا نعلم ما إذا كنا نطرح السؤال المناسب ؛ ففي أحدث نسخة من النظريات الوترية يظهر المكان والزمان كمقدارين مشتقين ، أي أنهما لا يظهران صريحين في معادلات النظرية ؛ ولا معنى فيها للحديث عن أي وقت أقرب إلى الانفجار الأعظم من جزء من تريليون تريليون جزء من الثانية الزمنية (التريليون يساوي ألف مليار) . ونادراً ما نستطيع أن نستشعر في حياتنا العادية فترة زمنية تقل عن واحد في المئة من الثانية ؛ وعلى هذا فإن الحقائق الحدسية التي نستقيها عن طبيعة المكان والزمان من خبرتنا اليومية ليست في الواقع ذات فائدة كبيرة في محاولة صوغ نظرية عن أصل هذا العالم .

إن الصعوبات الكاداء التي نصادفها في الفيزياء الحديثة لا تأتي من الميتافيزياء ، بل من فلسفة المعرفة ، أي في دراسة طبيعة المعرفة ومصادرها . فالمعرفة في مذهب الحواسية Positvism (أو في بعض نسخها المنطقية) لا تتطلب فقط أن يختبر العلم في نهاية الأمر نظرياته بالأرصاد (ومن الصعب الشك في ذلك) بل وأن يُربط كل جانب من جوانب نظرياتنا ، وفي كل تفاصيله ، بكميات يمكن أن نلحظها بالحواس أي ، برغم أن النظريات الفيزيائية قد تتناول جوانب لم تُدرس من قبل بشكل محسوس وكانت أكبر كلفة من أن تدرس في هذا العام أو في العام القادم ، لن يكون عندئذ من المقبول لنظرياتنا أن تتناول عناصر لا نستطيع ، من حيث المبدأ ، أن نلحظها أبداً . لكن في هذه النقطة رهاناً كبيراً ؛ لأن الحواسية ، إن كانت صحيحة ، تُجيز لنا أن نكتشف أسساً قيِّمة لوضع مقومات نظرية نهائية وذلك باستخدام تجارب ذهنية لمعرفة ما هية الأشياء التي يمكننا ، من حيث المبدأ ، أن نلحظها .

كان ماخ ، الفيزيائي والفيلسوف النمساوي ، الرجل الذي غالباً ما اقترن اسمه بإدخال الحواسية في الفيزياء في نهاية القرن الماضي ؛ فكان يرى أن هذا المذهب أفضل « ترياق » في مواجهة ميتافيزياء كنط . وكانت نشرة أينشتاين عام ١٩٠٥ عن النسبية الخاصة بادياً فيها بوضوح تأثر أينشتاين بأفكار ماخ ؛ فقد كانت مليئة برصّاد يقيسون المسافات والأوقات بمساطر وميقاتيات وأشعة ضوئية . كانت الحواسية ذات فائدة في تخليص أينشتاين من فكرة وجود معنى مطلق لمقولة تزامن حادثين (حدوثهما في لحظة واحدة) ؛ فقد اكتشف أن من المتعذر إجراء عملية قياس تستجيب لمعيار يضمن تزامناً من شأنه أن يقود إلى نتيجة واحدة يتفق عليها كل الرصاد . وهذا هو روح الحواسية بالفعل . وقد اعترف أينشتاين بفضل ماخ عليه . فقد ذيَّل الرسالة التي كتبها له بعد بضع سنوات بعبارة « تلميذك المخلص » . وبعد الحرب العالمية الأولى حصل تطوير لاحق لمذهب الحواسية على يدي رودولف كارناب وأعضاء دائرة فلاسفة فيينا الذين كانوا يهدفون إلى إعادة بناء العلم على أسس فلسفية مُرضية ونجحوا فعلاً في إزالة معظم « الهراء » الميتافيزيائي .

لقد كان للحواسية أيضاً دور مهم في ولادة ميكانيك الكم الحديث . فقد جاء في نشرة مهمة كتبها هايزنبرغ عن ميكانيك الكم عام ١٩٢٥ ما يلي : « من المعروف جيداً أن القواعد العُرفية المستخدمة في [نظرية الكم الصادرة عن بور عام ١٩١٣] لحساب المقادير القابلة للرصد ، كطاقة ذرة الهدروجين ، يمكن انتقادها بشكل خطير من منطلق أنها تحوي ، كعناصر أساسية ، علاقات فيما بين مقادير لا تبدو من حيث المبدأ قابلة للرصد ، كموضع الإلكترون وسرعة دوارنه [في الذرة] » . ففي سياق الحواسية لا يقبل هايزنبرغ ، في فهمه لميكانيك الكم ، إلا المقادير القابلة للرصد ، كوسطي الفترات الزمنية التي تقضيها ذرة الهدروجين في حالة مباحة قبل أن تنتقل إلى حالة مباحة أخرى بإصدار كمٍّ إشعاعي (فوتون) . ومبدأ الارتياب uncertainty ، الذي هو أحد أساسات التفسير الاحتمالي لميكانيك الكم ، يستند إلى تحليل حواسي أجراه هايزنبرغ للحدود التي نصادفها عندما نستهدف رصد موضع أحد الجسيمات واندفاعه في آن معاً .

ولكن برغم ما للحواسية من قيمة عند أينشتاين وهايزنبرغ فقد كان لها من الأضرار ما يساوي فوائدها . بيد أنها ، بخلاف النظرة الميكانيكية ، قد احتفظت بهالتها الساحرة ، مما زاد في أضرارها اللاحقة . وهذا لدرجة أن جعلها جورج غيل مسؤولة عن القطيعة الحالية بين الفيزيائيين والفلاسفة .

كانت الحواسية في قلب المعارضة التي لقيتها النظرية الذرية في بداية القرن العشرين . فقد كان القرن التاسع عشر قد شهد تحسيناً رائعاً في فكرة ديمقريطس ولوسيبوس القائلة بأن

المادة مصنوعة من ذرات ؛ وقد استخدم دالتون وأفوغادرو وخلفاؤهما هذه الفكرة لتفسير قواعد الكيمياء وخصائص الغازات وكنه الحرارة ، وأصبحت النظرية الذرية متاعاً عادياً من أمتعة الفيزياء والكيمياء . ومع ذلك كان أنصار ماخ الحواسيون يرون في هذه النظرية خروجاً عن النهج المتبع في العلم ، لأن هذه الذرات لا يمكن أن تُرصد بأية تقنية كان يمكن آنئذ تصورها . كان الحواسيون قد قضوا بأن العلميين يجب أن يهتموا بسرد نتائج الرصد ، كأن يقولوا مثلاً بأن حجمين من الهدروجين يتحدان مع حجم واحد من الأكسيجين لتشكيل بخار الماء ؛ ولكن يجب أن لا يهتموا بالتكهنات حول الأفكار الميتافيزيائية التي تعزو ذلك إلى أن جزيء الماء يتألف من ذرتي هدروجين وذرة أكسيجين . فماخ نفسه لم يتأقلم قط مع فكرة الذرات . فقد كتب عام ١٩١٠ ، أي بعد استتباب المذهب الذري لدى كل الناس تقريباً ، رسالة إلى بلانك يقول فيها : « إذا كان الاعتقاد بواقعية الذرات حاسماً لهذه الدرجة فسأتخلى عن طريقة التفكير الفيزيائية . ولن أكون فيزيائياً محترفاً ، وسوف أرتد عن سمعتي العلمية » .

كان لمعارضة المذهب الذري نتائج مؤسفة جداً في تأخر قبول الميكانيك الإحصائي ، النظرية الاختزالية التي تفسر الحرارة على أساس التوزع الإحصائي لطاقات أجزاء المنظومة المادية أياً كانت . فقد كان تطوير هذه النظرية ، على يدي مكسويل وبولتزمان وغيبس وسواهم ، واحداً من انتصارات علم القرن التاسع عشر ؛ وقد ارتكب الحواسيون في رفض الميكانيك الإحصائي أكبر خطأ يمكن أن يرتكبه رجل العلم ، ألا وهو عدم الإقرار بنجاح حصل .

كان للحواسية ضرر في مجالات أخرى أقل شهرة ؛ منها التجربة الرائعة التي أنجزها تمسون عام ١٨٩٧ والتي تُعتبر عموماً أنها اكتشاف الإلكترون (كان تمسون خليفة مكسويل ورايلي كأستاذ ذي كرسي بجامعة كمبردج) . كان الفيزيائيون قبل ذلك في حيرة أمام ظاهرة الأشعة الكاتودية (المهبطية) العجيبة ، الأشعة التي تصدر عن صفيحة معدنية موضوعة في أنبوب خلاء وموصولة بالقطب السالب لمنبع توتر كهربائي عالٍ ويتجلى وجودها بشكل بقعة مضيئة في مكان وصولها إلى قاعدة الأنبوب المقابلة للصفيحة . وشاشة أجهزة التلفزيون ليست سوى هذه القاعدة من أنبوب الأشعة الكاتودية التي تتحكم بشدتها الإشارات الآتية من محطة البث التلفزيوني . فعندما اكتُشفت الأشعة الكاتودية في القرن التاسع عشر لم يعرف أحد كنهها في أول الأمر ، ثم كان أن قاس تمسون مقدار انعطافها بالحقل الكهربائي وبالحقل المغنطيسي وهي في مسارها ضمن أنبوب الخلاء . عندئذ تبين له أن هذا الانعطاف يتفق مع فرضية أنها تتألف من جسيمات تحمل شحنة كهربائية محددة وكتلة محددة ، وأن حاصل قسمة الشحنة على الكتلة ثابت على الدوام . ولما تبين أن كتلة هذه الجسيمات أصغر بكثير

جداً من كتل الذرات استنتج ثمسون فوراً أن هذه الجسيمات هي المكوِّنات الأساسية للذرات وأنها حوامل الشحنات الكهربائية سواء في أسلاك الكهرباء أو في الذرات أو في أنابيب الأشعة الكاتودية . ولهذا السبب كان ثمسون يعتبر نفسه ، كما أصبح المؤرخون يعتبرونه ، مكتشف شكل جديد للمادة ، شكل جسيم اختار له اسماً سرعان ما شاع في التحليل الكيميائي الكهربائي : الإلكترون .

ومع ذلك كان والتر كاوفمان قد أجرى هذه التجربة في برلين وفي الوقت نفسه تقريباً . كان الفرق الرئيسي بين تجربة ثمسون وتجربة كاوفمان هو أن تجربة الألماني كانت أفضل ؛ فقد أعطت ، لنسبة شحنة الإلكترون على كتلته ، قيمة نعرف اليوم أنها أدق . لكن كاوفمان لم يُذكر قط أنه مكتشف الإلكترون ، لأنه لم يكن يعتقد أنه اكتشف جسيماً جديداً . أما ثمسون فكان يعمل في إطار التقاليد الإنكليزية التي تعود إلى نيوتن ودالتون وبراوت — تقاليد التكهن بخصوص الذرات ومكنوناتها . لكن كاوفمان كان من أنصار الحواسية ؛ لم يكن يعتقد أن من شأن الفيزيائيين أن يتكهنوا عن أشياء لا يمكن أن يلحظوها . ولهذا السبب لم يذكر كاوفمان أنه اكتشف نوعاً جديداً من الجسيمات ، بل ذكر أن الشيء الذي يسير في الشعاع الكاتودي ، وأياً كان كنهه ، يحمل نسبة معينة من شحنة كهربائية على كتلة مادية .

إن الدرس المستقى من هذه القصة ليس فقط أن الحواسية كانت ذات أثر رديء في مستقبل كاوفمان . لأن ثمسون استمر في عمله ، مدفوعاً باعتقاده أنه اكتشف جسيماً أساسياً ، وقام بتجارب أخرى لمعرفة خصائصه ؛ فوجد برهاناً على وجود جسيمات لها نسبة الشحنة نفسها على الكتلة وتصدر في النشاط الإشعاعي وعن المعادن المسخَّنة ، ثم أجرى قياساً مبكراً لشحنة الإلكترون الكهربائية ؛ فكان أن أعطى هذا القياس ، بعد قياس نسبة الشحنة على الكتلة ، قيمة كتلة الإلكترون . وكان من شأن هذه التجارب كلها معاً أن بررت بحق ادعاء ثمسون بأنه هو الذي اكتشف الإلكترون . ولكنه على الأرجح لم يكن ليجريها لو لم يأخذ بعين الجد فكرة وجود جسيم كان لا يمكن أن يُلحظ مباشرة في ذلك الوقت .

وبنظرة إلى الوراء لا تبدو الآن حواسية كاوفمان وخصوم النظرية الذرية عائقاً فحسب بل وساذجة أيضاً . فماذا يعني في النهاية أن تلحظ شيئاً ما؟ فبالمعنى الضيق لم يشاهد كاوفمان مسار أشعة كاتودية ينعطف في حقل مغنطيسي معين ؛ بل قد قاس موضع بقعة مضيئة عند الجهة المقابلة في أنبوب الخلاء حينما كان يوجد سلك ملفوف عدداً معيناً من المرات حول نواة حديدية قرب الأنبوب ، وموصول بمدخرة كهربائية ، واستخدم نظرية مقبولة

لتفسير ذلك بلغة مسارات الأشعة والحقول المغنطيسية . وبدقيق الكلام لم يفعل كاوفمان ذلك بالضبط : إنه تلقى إحساسات بصرية ولمسية فسرها بلغة بقع ضوئية وأسلاك ومدخرة كهربائية . **وقد أصبح من المألوف لدى مؤرخي العلم أن الأرصاد لا يمكن أن تستغني بتاتاً عن النظرية .**

إن التنازل الأخير الذي قدمه خصوم النظرية الذرية يوجَز بمقولة وردت عام ١٩٠٨ في طبعة كتاب الكيميائي فيلهلم أُستفالد ، أساسيات الكيمياء العامة : « إنني مقتنع الآن بأننا أصبحنا نملك مؤخراً برهاناً تجريبياً على الطبيعة التقطعية الحبيبية للمادة ، وهو البرهان الذي كانت الفرضية الذرية تبحث عنه دون جدوى خلال مئات السنين وألوفها » . كان البرهان التجريبي الذي استشهد به أُستفالد هو قياسات آثار التصادمات بين الجزيئات في ما كان يسمى الحركة البراونية التي تؤديها جسيمات صغيرة معلقة ضمن السوائل ، إضافة إلى قياس شحنة الإلكترون على يدي تمسون . ولكن إذا فهم المرء كيف تكون مضامين النظرية كلها معطيات تجريبية يصبح واضحاً أن كل النجاحات التي أحرزتها لتوها النظرية الذرية ، في الكيمياء والميكانيك الإحصائي ، قد غدت تُعتبر في نهايات القرن التاسع عشر رصداً ملحوظاً للذرات .

لقد سجل هايزنبرغ على أينشتاين أنه أصبح لديه أفكار أخرى عن الحواسية غير التي كانت عنده في بداية تناوله نظرية النسبية . فقد ذكر هايزنبرغ ، في محاضرة ألقاها عام ١٩٧٤ ، محادثة حصلت له مع أينشتاين في برلين في أوائل عام ١٩٢٦ :

لقد لفتُّ نظر [أينشتاين] إلى أننا لا نستطيع في الواقع أن نلحظ مثل هذا المسار [مسار الإلكترون في الذرة] ؛ إن ما نسجله فعلاً هو تواترات الضوء الصادر عن الذرة وشداته واحتمال الانتقالات [بين المدارات الذرية] ، لا المسار الفعلي ؛ وبما أن من غير المعقول أن نُدخل في النظرية إلا كميات يمكن أن تُرصد مباشرة ، فإن مفهوم المسارات الإلكترونية يجب أن لا يوجد في النظرية . لكنني فوجئت بأن أينشتاين لم يكن راضياً عن هذه المحاكمة . كان يرى أن النظريات كلها تحوي في الواقع كميات غير قابلة للرصد ؛ وأن مبدأ استخدام الكميات القابلة للرصد وحدها ليس صالحاً في كل الأحوال . وعندما اعترضت على ذلك بأنني لم أفعل سوى أن طبقتُ نوع الفلسفة الذي اتخذه هو أساساً لنظريته النسبوية الخاصة أجابني بكل بساطة : « ربما كنت قد استخدمت بالفعل فلسفة كهذه في الماضي ، وكتبتُ ذلك أيضاً ، لكن هذه الفلسفة هراء على كل حال » .

وحتى قبل ذلك ، وفي محاضرة ألقاها في باريز عام ١٩٢٢ ، قال أينشتاين عن ماخ بأنه : « ميكانيكي جيد » ولكنه « فيلسوف بائس » .

ورغم انتصار النظرية الذرية وتراجع أينشتاين ظلت الحواسية مسموعة من وقت لآخر في فيزياء القرن العشرين. فقد استمر الحواسيون في الإلحاح على الأشياء القابلة للرصد كما ظلت مواضع الجسيمات واندفاعاتها قائمة في التفسير «الواقعي» لميكانيك الكم الذي كان تابع الموجة يمثل فيه الواقعية الفيزيائية. فقد لاحظ أوبنهايمر، كما رأينا، عام ١٩٣٠ أن نظرية الفوتونات والإلكترونات المستعملة في الإلكتروديناميك الكمومي قد قادت إلى نتيجة منافية للعقل وهي أن إصدار الفوتونات من إلكترونات الذرة وامتصاصها ثانية يمنح الذرة طاقة لا حدود لها. وقد أزعجت هذه اللانهائيات النظريين طوال ثلاثينيات هذا القرن وأربعينياته واضطرتهم إلى افتراض أن الإلكتروديناميك الكمومي يصبح غير قابل للتطبيق على الإلكترونات والبروتونات في الطاقات العالية جداً. كان معظم هذا القلق في الإلكتروديناميك الكمومي مشوباً بشعور بالذنب مصدره الحواسية، أي أن بعض النظريين كانوا يخشون من أنهم يرتكبون إثماً عندما يتكلمون عن قيم الحقول الكهربائية والمغنطيسية في النقطة التي يحتلها الإلكترون فيُدخلون في الفيزياء عناصر لا يمكن من حيث المبدأ رصدها. كان ذلك صحيحاً، ولكن الخوف منه لم يزد على أن أخر اكتشاف الحل الحقيقي لمسألة اللانهائيات، الذي هو تنافيها عند العناية بتعريف كتلة الإلكترون وشحنته.

وقد لعبت الحواسية أيضاً دوراً مهماً في الهجوم الذي قاده جيوفري تشيو ضد نظرية الحقل الكمومية في الستينيات. كان تشيو يرى أن الشيء المركزي المهم في الفيزياء هو المصفوفة S، أي الجدول الذي يعطي احتمالات حصول على النتائج المتاحة الناجمة عن كل التصادمات الجسيمية الممكنة. وهذه المصفوفة تجمع كل ما يمكن رصده فعلياً من تفاعلات تتناول أي عدد من الجسيمات. ونظرية المصفوفة S تعود إلى أعمال هايزنبرغ وجون ويلر في الثلاثينيات والأربعينيات (إن الحرف S ينوب عن كلمة Streug الألمانية التي تعني «تبعثراً»، أي تناثر الجسيمات بعضاً عن بعض نتيجة التصادمات)، لكن تشيو وزملاءه كانوا يستخدمون أفكاراً جديدة في طريقة حساب المصفوفة S دون إدخال أي عنصر لا يمكن رصده، كالحقل الكمومي مثلاً. ولكن هذا البرنامج فشل في النهاية، وبعض هذا الفشل يعود ببساطة إلى الصعوبة التي لم يمكن التغلب عليها في حساب المصفوفة S بهذه الطريقة، ولكن قبل كل شيء لأن طريق التقدم في فهم القوى النووية الضعيفة والشديدة قد تبين كامناً في نظريات الحقول الكمومية التي كان تشيو يحاول التخلي عنها.

لكن التخلي عن مبادئ الحواسية كان له أعظم الأثر في صنع نظريتنا الحالية عن الكواركات. ففي أوائل الستينيات حاول كل من غيلمان وجورج زوايغ على حدة أن يختزلا العدد الهائل من الجسيمات التي كانت معروفة آنذاك. فاقترحا فكرة أن كل هذه الجسيمات

تقريباً مصنوعة من بضعة جسيمات بسيطة (أكثر أساسية) أطلق عليها غيلمان اسم كواركات. لم تكن هذه الفكرة بتاتاً تبدو خروجاً عن طريقة التفكير الرئيسية التي دأب عليها الفيزيائيون؛ بل كانت في الواقع خطوة إضافية على الطريق التقليدي الذي بدأه ديمقريطس ولوسيبوس في محاولة تفسير البنى المعقدة على أساس مكوِّنات أبسط وأصغر. وقد طُبقت الصورة الكواركية في الستينيات على تشكيلة كبيرة من مسائل فيزيائية ذات صلة بخصائص النترونات والبروتونات والميزونات وكل الجسيمات الأخرى التي افتُرض أنها مصنوعة من كواركات؛ فاتضح أن هذه الصورة تعمل بشكل جيد. هذا مع أن الجهود الضخمة التي بذلها، في الستينيات وأوائل السبعينيات، أفضل الفيزيائيين التجريبيين قد بيَّنت أن من المتعذر انتزاع كواركات حرة من الجسيمات التي افتُرض أنها تحويها. كان ذلك يبدو جنونياً، فمنذ أن انتزع ثمسون إلكترونات من الذرات في أنبوب أشعة كاتودية كان بالمستطاع دوماً تحطيم أية منظومة مركَّبة، كالجزيء الكيميائي والذرة والنواة، إلى الجسيمات الإفرادية المكنونة فيها. فلماذا إذن استحال عزل كواركات حرة؟

لقد بدأت الصورة الكواركية تتضح مع قدوم الكروموديناميك (الديناميك اللوني) الكمومي في أوائل السبعينيات، وهو نظريتنا الحديثة في القوى النووية الشديدة، النظرية التي تحظر أية آلية تؤدي إلى عزل كوارك حر. لقد أتى هذا الاختراق عام ١٩٧٣ حين تبين، من الحسابات التي أجراها ديفيد غروس وفرانك ويلزيك في برنستون وكذلك ديفيد بوليتزر في هارفارد، أن بعض أنواع نظرية الحقل الكمومية ذات خاصية مقصورة عليها أسموها «الحرية التقاربية»، وهي أن القوى في هذه النظريات تتناقص في الطاقات العالية. ولئن كان مثل هذا التناقص قد لوحظ في تجارب التبعثر العالي الطاقة التي تعود إلى عام ١٩٦٧، إلا أن تلك كانت المرة الأولى التي عُثر فيها على نظرية تُبين وجود قوى تتصرف بهذا الشكل. وسرعان ما قاد هذا النجاح إلى إحدى نظريات الحقل الكمومية، نظرية الكواركات والغليونات المعروفة باسم الكروموديناميك الكمومي الذي ما لبث أن قُبل كنظرية صحيحة في القوى النووية الشديدة.

كان المظنون في الأصل أن عدم ظهور الغليونات في تصادمات الجسيمات العنصرية يعودا إلى كبر كتلها، ولم يكن يوجد في هذه التصادمات ما يكفي من الطاقة الجاهزة لإنتاج الكتل الغليونية الكبيرة. ولكن سرعان ما اقترح بعض النظريين، بعد اكتشاف الحرية التقاربية، فكرة بديلة تقول بأن الغليونات عديمة الكتلة، كالفوتونات. فإذا كان ذلك صحيحاً يكون سبب عدم ظهور الغليونات، وربما الكواركات أيضاً، عائداً إلى أن تبادل الغليونات العديمة الكتلة بين الكواركات أو الغليونات يعطي قوى ذات مدى طويل يتعذر

معها مبدئياً فصل الكواركات أو الغليونات كلاً عن سواه . ويُعتقد الآن أن تفكيك الميزون (وهو جسيم يتألف من كوارك وكوارك مضاد) يستدعي قوة تشتد مع تزايد المسافة بين الكوارك والكوارك المضاد ، ربما إلى أن يتطلب الأمر وجود طاقة جاهزة تكفي لخلق زوجين آخرين ، أي كوارك وكوارك مضاد جديدين : أي أن كواركاً مضاداً جديداً ينبثق من الخلاء ويلتحم مع الكوارك الأصلي ، وينبثق معه من الخلاء كوارك جديد يلتحم مع الكوارك المضاد الأصلي . **وبذلك نحصل ، بدلاً من تفكيك الميزون الأصلي إلى كوارك وكوارك مضاد حرَّين ، نحصل** على ميزونين يتألف كل منهما من كوارك وكوارك مضاد ، وغالباً ما يساق بهذا الصدد تشبيه مجازي يتمثل بمحاولة شد وتر كي نفصل بين طرفيه : إنك تستطيع أن تشد وتشد ، وقد يتفق لك بذل طاقة تكفي لقطع الوتر ، ولكنك لن تجد في النهاية طرفين معزولين من الوتر الأصلي ، بل تحصل على وترين لكل منهما طرفان متصلان معاً . وهكذا أصبحت استحالة الحصول على كوارك أو غليون معزول فكرة معقولة مبدئياً في الفيزياء الجسيمية الحديثة ، ولكنها لا تدعونا إلى التوقف عن وصف النترونات والبروتونات والميزونات بأنها مصنوعة من كواركات . وأنا لا أستطيع أن أتصور شيئاً أبغض إلى إرنست ماخ من هذه النتيجة .

لم تكن النظرية الكواركية سوى خطوة على طريق صياغة جديدة لنظرية فيزيائية بلغة أكثر فأكثر عمقاً ، وفي الوقت نفسه أبعد فأبعد عن الخبرة اليومية . فكيف نبيح لأنفسنا الأمل في صنع نظرية تعتمد على المقادير القابلة للرصد إذا كان لا يظهر ، في أعمق مستوى من نظرياتنا ، أي شيء من أشياء خبرتنا ، حتى ولو عن المكان والزمان؟ يبدو لي من غير المحتمل أن يقدم مذهب الحواسية فائدة كبيرة في المستقبل .

كانت الميتافيزياء وفلسفة المعرفة تهدفان على الأقل إلى أداء دور بنّاء في العلم . وفي السنين الأخيرة تعرض العلم لهجوم من معلقين لا يجمع بينهم سوى انضوائهم تحت راية أن الأمور نسبية . وفلاسفة هذا المذهب يستنكرون على العلم طموحه إلى اكتشاف حقيقة موضوعية ؛ ويرون أن هذا الطموح مجرد ظاهرة اجتماعية أخرى لا تختلف أساسياً عن تقديس الخصوبة أو إقامة مهرجان .

لقد نشأت النسبانية relativism الفلسفية هذه جزئياً من اكتشاف الفلاسفة ومؤرخي العلم وجود عنصر ذاتي (شخصي) subjectif في العملية التي تؤدي إلى قبول الأفكار العلمية . ونحن قد رأينا هنا الدور الذي تؤديه الأحكام الجمالية في قبول النظريات الفيزيائية الجديدة . وفي قصة قديمة بالنسبة لرجال العلم (رغم أن بعض الفلاسفة والمؤرخين يكتبون عنا وكأننا لا نشعر بذلك بتاتاً) ، وفي كتابه المشهور ، بنية الثورات العلمية ، يذهب توماس كوهن Kuhn إلى أبعد من ذلك محتجاً بأن المعايير (أو « النماذج ») التي يعتمدها

العلميون في الحكم على نظرياتهم تتغير مع الزمن، فلا تُستخدم المعايير القديمة للحكم على النظريات الجديدة. ولئن كان هذا الكتاب يحوي الكثير مما يتفق مع خبرتي الشخصية بالعلم، إلا أنه يحاول في الفصل الأخير مهاجمة فكرة أن العلم يتقدم نحو حقائق موضوعية، ويقول: «نستطيع، بتعبير أدق، أن نتخلى عن الفكرة، الصريحة أو الخبيئة، القائلة بأن تغيرات المعايير تقود العلميين ومن تعلم منهم إلى الاقتراب من الحقيقة». ويبدو أن هذا الكتاب صار يُقرأ فيما بعد وكأنه بيان عام يهاجم موضوعية العلم المزعومة.

لقد نما أيضاً، مع أعمال روبرت مورتون الموجهة في ثلاثينيات القرن العشرين إلى علماء الاجتماع والأجناس البشرية، نزوع إلى معاملة وظيفة العلم (أو على الأقل غير علمي الاجتماع والأجناس البشرية) بالطريقة المتبعة نفسها في دراسة الظواهر الاجتماعية الأخرى. صحيح طبعاً أن العلم ظاهرة اجتماعية بمجمل إنجازاتها الخاصة ومفاخرها الناطقة ونماذجها المهمة في الترابط والموثوقية؛ فقد أنفقت شارون تراويك، مثلا، سنوات عديدة بصحبة فيزيائيي الجسيمات العنصرية التجريبيين في مركز مسرِّع ستانفورد والمختبر الياباني كيك KEK وشرحت ما شاهدته من وجهة نظر المختص بالأجناس البشرية. إن العلم الكبير ميدان طبيعي لعمل علماء الأجناس والاجتماع، لأن العلميين ينتمون إلى فئة غير ملتزمة تُقدِّر المبادرة الفردية، ويعتقدون مع ذلك أن تجارب اليوم تقتضي منهم عملاً جماعياً يسهم فيه المئات. ولئن كنت، كفيزيائي نظري، لم أعمل في فريق من هذا القبيل، إلا أن الكثير من ملاحظاتها تبدو لي صدى الحقيقة، كقولها التالي:

> إن الفيزيائيين يرون أنفسهم وكأنهم نخبة لا يدخل فيها إلا من أثبت جدارته العلمية. والمفروض أن يكون كل منهم ذا منطلقات حسنة. وإنك لترى ذلك في ألبستهم غير الرسمية بتاتاً، وفي تشابه مكاتبهم، وفي تناديهم ضمن مجتمعهم بأسمائهم الأولى غير العائلية. وإنهم يعتبرون تنافس الأفراد أمراً عادلاً وفعالاً معاً: فيرون في تسلسل المكانة ديمقراطية استحقاق تُنتج فيزياء رفيعة. مع أن الفيزيائيين الأمريكيين يُصرون على أن العلم ليس ديمقراطياً: بمعنى أن القرارات المطروحة بخصوص الموضوعات العلمية المستهدفة يجب أن لا تؤخذ بالأكثرية ضمن مجتمعهم، كما لا يجب أن تتساوى كل الحقوق في اقتسام المصادر المالية للمختبرات. وفي هاتين القضيتين بالذات يختلف معهم معظم الفيزيائيين اليابانيين.

وفي سياق هذه الدراسات اكتشف علماء الاجتماع والأجناس البشرية أن عملية تغيير النظرية العلمية هي أيضاً عملية اجتماعية، فقد جاء في أحد كتب المراجعة الفاحصة الحديثة أن «الحقائق العلمية في أعماقها تُعدُّ بمعظمها شواهد موافقةٍ اجتماعية على ما هو «واقعي» أتت من خلال «عملية علمية» تفصل بين المتشابكات». ومن خلال رصد العلميين وهم

على رأس عملهم في مؤسسة سولك توصل الفيلسوف الفرنسي برونو لاتور وعالم الاجتماع الإنكليزي ستيف ولغار إلى التعليق التالي : «إن مناقشة ما يُعتبر برهاناً أو اختباراً جيداً ليست أكثر ولا أقل مخالفة للأعراف من أية مناقشة بين الحقوقيين أو السياسيين» .

ويبدو أنها كانت خطوة سهلة في الانتقال من الدراسات التاريخية والاجتماعية المفيدة إلى الرأي القاطع القائل بأن محتوى النظريات العلمية ، التي أصبحت مقبولة ، هو كما هو بسبب السياق الاجتماعي والتاريخي الذي جرى فيه البحث عن النظريات (إن استخلاص هذا الرأي يسمى أحياناً البرنامج القوي في اجتماعيات العلم . وهذا الهجوم على موضوعية المعرفة العلمية أصبح صريحاً لدرجة أن ورد عنواناً لكتاب ألّفه أندرو بيكرنغ : اصطناع الكواركات . فهو يصل في الفصل الأخير إلى النتيجة التالية : «وبما أن الفيزيائيين ضليعون جداً في التقنيات الرياضية المعقدة ، فإن سيطرة الرياضيات على مقولات فيزيائيي الجسيمات حول الحقيقة الواقعية ليست بأصعب تفسيراً من تمسك الأقليات العرقية بلغتهم الأم . وبالاستناد إلى الرأي الذي دافعنا عنه في هذا الفصل لا يوجد ما يجبر الإنسان الذي يصنع لنفسه رأياً في هذا العالم على أن يأخذ في الحسبان ما تقوله علوم القرن العشرين» . ويشرح بيكرنغ بالتفصيل التغير الكبير الذي أصاب مؤكّدات الفيزياء التجريبية العالية الطاقة في أواخر الستينيات وأوائل السبعينيات ؛ وبدلاً من التركيز على الفطرة السليمة (عبارة بيكرنغ نفسه) في تناول أوضح ظواهر التصادمات الجسيمية العالية الطاقة (كتفتت الجسيمات إلى عدد كبير من الجسيمات الأخرى التي يندفع معظمها باتجاه الحزمة الأصلي) يلجأ التجريبيون إلى إجراء تجارب يقترحها النظريون ، تجارب تتركز على الحوادث النادرة ، كحوادث انبثاق جسيم عالي الطاقة من جراء التصادم وبزاوية كبيرة مع اتجاه الحزمة الواردة .

صحيح أن فيزياء الطاقة العالية قد شهدت تغيراً في المؤكدات ، على غرار ما شرحه بيكرنغ ، لكن ذلك كان نابعاً من الضرورات التاريخية في وظيفة الفيزياء . إن البروتون مؤلف من ثلاثة كواركات مغمورة في غيمة قوامها غليونات وأزواج كواركية تظهر وتختفي باستمرار . وفي معظم التصادمات بين البروتونات تذهب طاقة الجسيمات الواردة عموماً إلى تحطيم هذه الغيمات الجسيمية ، كما يحدث عند تصادم شاحنتي نفايات . قد تكون تلك أهم التصادمات ، ولكنها أعقد من أن تتيح لنا حساب ما يجب أن يحدث بموجب نظريتنا المعتمدة في الكواركات والغليونات ، مما يجعل هذه التصادمات عديمة الفائدة في اختبار هذه النظرية . ولكن قد يتيسر أحياناً لكوارك أو غليون في أحد البروتونين أن يصدم كواركاً أو غليوناً في مقدمة البروتون الآخر ، وقد تصبح طاقتاهما كافيتين لطرد هذه الكواركات أو الغليونات بطاقة عالية من شظايا التصادم ؛ وهذه عملية نعرف كيف نحسب معدَّل حدوثها . لكن هذا

التصادم قد يخلق جسيمات جديدة (مثل W و Z التي تحمل القوة النووية الضعيفة) لا بد من دراستها للحصول على مزيد من المعلومات عن اتحاد القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية . تلك هي الأحداث النادرة التي يخطط التجريبيون اليوم لاكتشافها .. ومع ذلك ما يزال بيكرنغ ، الذي بحسب معلوماتي يعرف جيداً جداً هذه الخلفية النظرية ، يصف هذه التغيرات في مؤكدات فيزياء الطاقة العالية وكأنها مجرد بدعة كالانتقال من الانطباعية إلى التكعيبية في الرسم ، أو من القمصان القصيرة إلى الطويلة في دور الأزياء .

إنها لمغالطة منطقية بحتة أن يُستنتج من كون العلم عمليةً اجتماعية أن نتاجه النهائي ، أي نظرياتنا العلمية ، هو كما هو بسبب تأثير القوى الاجتماعية والتاريخية في هذه العملية . فقد يتناقش فريق من متسلقي الجبال حول أفضل الطرق للوصول إلى القمة ، وقد تتحكم في هذه المناقشة البنيةُ التاريخية والاجتماعية لأعضاء هذا الفريق ، ولكنهم في النهاية إما أن يجدوا الطريق الجيد إلى القمة وإما أن لا يجدوه ، وسوف يعرفونه عندما يصلون إليها . (لا يخطر ببال أحد أن يكتب في هذا الشأن كتاباً عنوانه اصطناع إيفيريست) . ولئن لم يكن باستطاعتي أن أبرهن على أن العلم من هذا القبيل ، إلا أن كل شيء في خبرتي كرجل علم يقنعني بأنه هكذا فعلاً . إن المناقشات حول التغيرات التي تطرأ على النظريات العلمية لا تتوقف أبداً ، إضافة إلى التغيرات التي تطرأ باستمرار على أذهان رجال العلم ، كل ذلك استجابةً للحسابات والتجارب إلى أن نصل إلى رأي نهائي يحمل سمة لا نشك فيها من سمات النجاح الموضوعي . ويخامرني شعور موثوق بأننا بصدد اكتشاف شيء حقيقي في الفيزياء ، شيء نراه كما هو ، بغض النظر عن الظروف الاجتماعية والتاريخية التي أتاحت لنا اكتشافه .

من أين يأتي إذن هذا الهجوم المتطرف على موضوعية المعرفة العلمية ؟ أعتقد أن أحد مصادره هو بعبع الحواسية القديم التي أصبح تطبيقها على العلم نفسه « موضة » العصر . أي أنك إذا امتنعت عن الحديث في أي شيء لا يُرصد رصداً مباشراً ، تصبح عندئذ النظريات الحقلية الكمومية ، أو مبادئ التناظر أو قوانين الطبيعة عموماً ، أشياء لا يمكن أن تؤخذ مأخذ الجد . فالذي **يمكن** أن يتدارسه الفلاسفة وعلماء الاجتماع والأجناس البشرية هو التصرف الفعلي للعلميين الحقيقيين ، وهذا التصرف لا يتبع بتاتاً أي توصيف بسيط في إطار قواعد الاستنتاج . لكن للعلميين خبرتهم المباشرة بالنظريات العلمية التي ظلت مرغوبة رغم ما تسببه من حيرة ، ثم أصبحوا مقتنعين بواقعية هذه النظريات .

قد يوجد سبب آخر لمهاجمة واقعية العلم وموضوعيته ، سبب أقل نبلاً . تصور إذا أردت عالماً بالأجناس البشرية يدرس عقلية عمال النقل على جزيرة في المحيط الهادي هب أن

سكان الجزيرة يعتقدون بأنهم يستطيعون استجلاب طائرات الشحن التي كانت سبب ازدهارهم في الحرب العالمية الثانية وذلك ببناء أشياء من الخشب تشبه الرادار وهوائيات الراديو . إن الطبيعة البشرية وحدها هي التي تدفع هذا العالم وسواه من علماء الاجتماع والأجناس البشرية ، في ظروف كهذه ، إلى الشعور الحاد بتفوقهم ، لأنهم يعرفون ما لا يعرفه هؤلاء الناس من أن معتقداتهم هذه ليست بذات واقعية موضوعية ـــ لن تنجذب أية طائرة نقل بهذه الرادارات الخشبية . وإذا حوَّل علماء الاجتماع والأجناس اهتمامهم إلى دراسة عمل العلميين ، هل يكون عندئذ من الغريب أن يحاولوا استرداد ذلك الشعور الممتع بتفوقهم وذلك بإنكار الواقعية الموضوعية على اكتشافات العلميين ؟

إن النسبانية ليست سوى وجه واحد من وجوه الهجوم المتطرف الواسع على العلم نفسه . إن فيراباند يدعو إلى فصل العلم رسمياً عن المجتمع كفصل الدين عن الدولة ، متذرعاً بأن « العلم واحد من المذاهب الفكرية العديدة التي توجه المجتمع ، ويجب معاملته على هذا الأساس » . وتقول الفيلسوفة ساندرا هاردينغ بأن العلم الحديث (الفيزياء خصوصاً) « ليس جنسياً فحسب بل وعرقي أيضاً ورجعي وقسري ثقافياً » وتحاول البرهان على أن « الفيزياء والكيمياء ، والرياضيات والمنطق ، موسومة كلها ببصمة صانعيها الثقافية المميِّزة لدرجة لا تقل عما في علم الأجناس البشرية وعلم التاريخ » . أما ثيودور روساك فيحاول البرهان على أننا نغيِّر « الإحساس الأساسي بالفكر العلمي ... حتى ولو اضطررنا إلى إعادة النظر جذرياً في وظيفة العلم ومكانته في ثقافتنا » .

ويبدو أن هذه الانتقادات المتطرفة ذات مفعول ضعيف على العلميين أنفسهم . وأنا لا أعرف أي علمي ممارس يأبه لها جدياً . لكن خطرها على العلم يأتي من إمكانية تأثيرها في أولئك الذين لم يمارسوا العمل العلمي وهم رغم ذلك يتحكمون به وبنا ، لا سيما في أولئك الذين أُنيط بهم تمويله وفي أجيال العلميين اللاحقين . وقد استشهدت إحدى المجلات العلمية (Nature) مؤخراً بوزير أناطت به الحكومة الإنفاق على العلوم المدنية في بريطانيا وقال بأنه يوافق على ما جاء في أحد كتب برايان أبليارد الذي موضوعه أن العلم يسيء للروح البشرية .

أنا أظن أن جيرالد هولتون أقرب إلى الصدق في رأيه بأن الهجوم المتطرف على العلم علامة من علامات العداء الكثيرة للحضارة الغربية التي أفسدت عقول المثقفين الغربيين منذ أسفالد شبنغلر حتى اليوم . والعلم الحديث هدف صريح لهذا العداء ؛ إن الفن والأدب العظيمين قد نبعا من عدة حضارات عالمية أخرى ، لكن الغرب كان مسيطراً على معظم البحث العلمي منذ عهد غاليلو .

يبدو لي أن هذا العداء قد أخطأ هدفه بشكل مأساوي . فالأسلحة النووية ، التي هي أرهب ما يمكن تصوره من تطبيقات العلم في الغرب ، ليست سوى ثمرة مرة إضافية من ثمار الجهود الدائمة التي يبذلها الجنس البشري لتدمير نفسه . وإذا وضعنا ذلك في مقابل تطبيقات العلم السلمية ودورها في انفتاح الذهن البشري أعتقد أن العلم الحديث ، إضافة للديمقراطية والموسيقى الرائعة ، أشياء وهبها الغرب للعالم ويجب أن نفتخر بها .

إن هذا الطرح سوف يزول في نهاية الأمر . فالطرائق والمعرفة العلمية الحديثة قد انتشرت بسرعة إلى بلدان العالم غير الغربية كاليابان والهند ، بل وإلى العالم كله ، ونستطيع أن نأمل بحلول يوم لا يعود فيه العلم غربياً فحسب ، بل يصبح ممارسة يشارك فيها الجنس البشري كله .

الفصل الثامن

أحزان القرن العشرين

الأحزان
أحزان القرن العشرين
طرحتني أرضاً
من الذي نجا
من متاعبها
أحزان القرن العشرين

Noë Coward, Cavalcade

كلما استطعنا أن نتابع سلاسل الأسئلة عن القوة والمادة، إلى أبعد ما يمكن، نجد أجوبتها في النموذج المعياري للجسيمات العنصرية الأساسية. وفي كل المؤتمرات التي انعقدت منذ أواخر السبعينيات حول فيزياء الطاقة العالية يعرض التجريبيون مزيداً من الدقة في الاتفاق بين نتائجهم ونبوءات النموذج المعياري. وقد تظن أن من شأن فيزيائيي الطاقة العالية أن يشعروا بالرضا، فلماذا نحن حزينون لهذه الدرجة ؟

أولاً، وقبل كل شيء، لأن النموذج المعياري يصف القوى الكهرطيسية والنووية الضعيفة والنووية الشديدة ويدع خارجاً القوة الرابعة، القوة الثقالية، التي كانت أول قوة معروفة. إن خلو هذا النموذج من القوة الثقالية ليس مجرد إهمال، كما سنرى، بل تحول عقبات رياضية كأداء دون توصيف الثقالة باللغة التي نستعملها لتوصيف القوى الأخرى في النموذج المعياري، أي لغة نظرية الحقل الكمومية. وثانياً لأن القوة النووية الشديدة، رغم انضوائها في النموذج المعياري، تبدو شيئاً مختلفاً نوعاً ما عن القوتين، الكهرطيسية والنووية الضعيفة، وليس جزءاً من صورة موحدة. وثالثاً لأن بين الكهرطيسية والضعيفة فروقاً واضحة، رغم أن النموذج المعياري يعاملهما بطريقة موحدة. (النووية الضعيفة، مثلاً وفي الظروف العادية، أوهى بكثير من الكهرطيسية). ولئن كان لدينا فكرة عامة عن كيفية نشوء هذه الفروق، إلا أننا لا نفهم مصدرها فهماً كاملاً. وأخيراً لأن النموذج المعياري، إضافة إلى خلوه من القوة الثقالية، يتطلب عدة صفات لا تنبع من المبادئ الأساسية (كما نتمنى) بل يجب حتماً استمدادها

من التجربة . ومن هذه الصفات ، التي تبدو اعتباطية ، وجود حشد من الجسيمات وعدد من الثوابت ، كنسب الكتل ، وحتى التناظرات نفسها . وهذا بمعنى أننا نستطيع بسهولة أن نتصور أن أياً من صفات النموذج المعياري ، أو كلها ، يمكن أن تكون مختلفة عما هي .

من المؤكد أن النموذج المعياري عملية تنظيم ضخمة تتناول خليط التناظرات التقريبية ، وافتراضاتٌ دينامية مصوغة بشكل رديء ، ومجردُ وقائع كان لا بد لجيلي من الفيزيائيين أن يتعلموها في الدراسات الجامعية العليا . فمن الواضح إذن أنه ليس الجواب النهائي ، ولكي نتجاوزه يجب علينا أن نتصارع مع إخفاقاته كلها .

إن كل مشاكل هذا النموذج تمس ، بطريقة أو بأخرى ، ظاهرة معروفة باسم **انكسار التناظر تلقائياً** . كان اكتشاف هذه الظاهرة واحداً من التطورات العظيمة التي أطلقت علم القرن العشرين من عقاله ، في فيزياء المادة الكثيفة أولاً ثم في فيزياء الجسيمات العنصرية ثانياً . وأكبر نجاح أحرزه هذا الاكتشاف كان في تفسير الفروق بين القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية ، مما يدعو نظرية الكهرضعيفة إلى احتلال موقع جيد ننطلق منه إلى إلقاء نظرة على ظاهرة انكسار التناظر تلقائياً .

إن نظرية الكهرضعيفة جزء من النموذج المعياري يتناول القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية . وهي تستند إلى مبدأ تناظر **صحيح** يقول بأن قوانين الطبيعة تظل على شكلها إذا بدلنا ، في كل مكان من معادلات النظرية ، حقلي الإلكترون والنترينو بمزيج من حقلين — أحدهما إلكتروني بنسبة ٣٠ ٪ ، مثلاً ، ونترينوي بنسبة ٧٠ ٪ ، والآخر إلكتروني بنسبة ٧٠ ٪ ونترينوي بنسبة ٣٠ ٪ — ومزجنا في الوقت نفسه وبطريقة مماثلة حقول أُسر جسيمات أخرى ، كالكوارك u والكوارك d . وهذا المبدأ التناظري يسمى **موضعياً** ، بمعنى أن قوانين الطبيعة يُفترض فيها أن لا تتغير حتى ولو تغيرت هذه المزائج من وقت لآخر أو من مكان لآخر . وهناك أسرة حقول أخرى **يفرض** وجودَها هذا المبدأُ التناظري الموضعي ، بالطريقة نفسها التي يفرض بها تناظرُ القوانين إزاء جمل الإحداثيات الحقلَ الثقالي . وهذه الأُسرة هي حقول الفوتون والجسيمات W و Z ؛ وهذه الحقول أيضاً يجب أن تتمازج بعضاً ببعض عندما نمزج حقول الإلكترون والنترينو والكوركات . **فتبادل الفوتونات مسؤول عن القوة الكهرطيسية ، في حين أن تبادل الجسيمات W و Z ؛ مسؤول عن القوة النووية الضعيفة ، مما يجعل هذا التناظر بين الإلكترونات والنترينوات تناظراً أيضاً بين القوة الكهرطيسية والقوة النووية الضعيفة .**

لكن هذا التناظر لا يظهر في الطبيعة ، وهذا هو سبب التأخر الكبير في اكتشافه . لأن الإلكترونات والجسيمات W و Z ، مثلاً ، ذات كتلة ، في حين أن الفوتونات والنترينوات

عديمة الكتلة(*). (إن عظم كتل الجسيمات W و Z هو الذي يجعل القوة النووية الضعيفة أوهى بكثير من القوة الكهرطيسية). أي بتعبير آخر، أن التناظر الذي يربط الإلكترون والنترينو ومالف لفهما هو خاصية من خصائص معادلات النموذج المعياري الأساسية، المعادلات التي تفرض خصائص الجسيمات العنصرية، لكن هذا التناظر غير موجود في **حلول** هذه المعادلات ــ خصائص الجسيمات نفسها.

لكي نرى كيف يمكن للمعادلات أن تحوي تناظراً لا ينتقل إلى حلولها، هب أن معادلاتنا تناظرية تماماً بين نوعين جسيميين، كالكوارك u والكوارك d مثلاً، وأننا نريد أن نحل هذه المعادلات كي نجد كتلتي هذين الجسيمين. قد يفترض المرء أن التناظر بينهما يفرض أن تتساوى كتلتاهما، لكن هذه ليست بالإمكانية الوحيدة. فتناظر المعادلات لا ينفي إمكانية أن يوجد حل يعطي للكوارك u كتلة أكبر من التي يعطيها للكوارك d؛ لكن هذا التناظر يتطلب فقط، وفي هذه الحالة، أن يوجد لهذه المعادلات حل **ثانٍ** يعطي للكوارك d كتلة أكبر من التي يعطيها للكوارك u وبالفرق نفسه بالضبط. وهذا يعني أن تناظر المعادلات لا ينسحب بالضرورة على كل حل بمفرده من حلول هذه المعادلات، ولكنه ليس سوى صورة **لكل** حلول هذه المعادلات. وفي هذا المثال البسيط نرى أن الخصائص الفعلية للكواركات تقابل هذا الحل من الحلين أو ذاك، وهذا هو معنى انكسار تناظر النظرية الأساسية ــ عند المرور إلى أحد حلول معادلاتها. ولكن لاحظ أن من غير المهم حقاً أن يتحقق في الطبيعة هذا الحل أو ذاك ــ إذا كان الفرق بين الكوارك u والكوارك d فرقاً في الكتلة فقط، فإن الفرق بين الحلين يكون مجرد فرق في التسمية بين هذا الكوارك وذاك. والطبيعة التي نعرفها تمثل حلاً واحداً لمعادلات النموذج المعياري، ولا يهم أيهما الذي حصل طالما ظلت هذه الحلول المختلفة كلها مترابطة بالمبادىء التناظرية ذاتها.

في مثل هذه الحال نقول إن التناظر مكسور، رغم أن من الأفضل أن نقول إنه «خفي»، لأنه ما زال كامناً في المعادلات، وهذه المعادلات تحكم خصائص الجسيمات. ونقول عن هذا الانكسار إنه **تلقائي** لأنه لا يحدث بتدخل خارجي في معادلات النظرية، بل يظهر «عفوياً» في مختلف حلول هذه المعادلات.

إن مبادىء التناظر هي التي تعطي نظرياتنا قسطاً كبيراً من جمالها. ذلك هو سبب الحماس الكبير الذي ثار في نفوس فيزيائيي الجسيمات العنصرية حين بدؤوا في أوائل الستينيات يهتمون بالانكسار التلقائي للتناظر. فقد عدنا فجأة إلى الاعتقاد بأن في قوانين

---

* إن مسألة كتلة النترينوات لم تُحسم بعد، ولكن الجميع متفقون على أنها، إن وُجدت، بالغة الصغر جداً.
المترجم

الطبيعة تناظراً أوسع بكثير مما توحي به النظـرة السطحيـة إلى خصائص الجسيمـات العنصرية . والتناظر المكسور فكرة أفلاطونية جداً : إن الحقيقة الواقعية التي نرصدها في مختبراتنا ليست سوى صورة رديئة من حقيقة أعمق وأجمل ، حقيقة المعادلات التي تنبئ عن كل تناظرات النظرية .

إن المغنطيس الدائم العادي مثال جيد واقعي على التناظر المكسور . (هذا المثال مناسب بشكل خاص لأن انكسار التناظر تلقائياً قد ظهر أول الأمر في نظرية هايزنبرغ الكمومية عن المغنطيسية الدائمة ، عام ١٩٢٨) . ذلك أن المعادلات التي تحكم ذرات الحديد والحقلَ المغنطيسي في المغنطيس تناظريةٌ تماماً بالنسبة لاتجاهات الفضاء ؛ ولا شيء في هذه المعادلات يميز الشمال عن الجنوب أو الشرق أو أي اتجاه آخر . ومع ذلك ، عندما نبرِّد الحديد إلى ما دون ٧٧٠ درجة مئوية ، ينشأ تلقائياً حقل مغنطيسي في اتجاه محدد ، كاسراً التناظر بين الاتجاهات المختلفة . فإذا كان يوجد كائنات صغيرة تولد وتعيش على الدوام ضمن المغنطيس الدائم فقد يلزمها وقت طويل لتدرك أن قوانين الطبيعة تمتلك بالفعل تناظراً بالنسبة لشتى الاتجاهات في الفضاء ، فيبدو لها أن هناك اتجاهاً مُفضَّلاً في بيئتها ، لا لسبب إلا لأن سبينات ذرات الحديد قد اتخذت تلقائياً اتجاهاً واحداً ، فنجم عن هذه الظاهرة حقل مغنطيسي .

ونحن ، كالكائنات الصغيرة في المغنطيس ، قد اكتشفنا في المدة الأخيرة تناظراً اتفق له أن يكون مكسوراً في عالمنا **نحن**. إنـه التناظـر الـذي يربـط بين القـوتين ، الضعيفـة والكهرطيسية ، والذي يظهر ، مثلاً ، بشكل عدم تماثل بين الفوتون عديم الكتلة والجسيمات الثقيلة جداً : W و Z . والفرق الكبير بين انكسار التناظر في النموذج المعياري و انكساره في المغنطيس هو أن أصل التمغنط مفهوم جيداً ؛ فهو يحدث بفعل قوى كهرطيسية معروفة بين ذرات حديد متجاورة تنزع إلى توجيه سبيناتها (محاور دورانها على نفسها) باتجاهات متوازية . أما في النموذج المعياري فما زال السبب خفياً ؛ إذ أن أياً من القوى المعروفة لا تملك شدة كافية لتوليد انكسار التناظر الملحوظ بين القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية . وسبب انكسار التناظر هو أهم شيء ما نزال نجهله في النموذج المعياري .

في النسخة الأصلية لنظرية القوتين الضعيفة والكهرطيسية كان انكسار التناظر بينهما يُعزى إلى حقل جديد أُدخل في النظرية لهذا الغرض بالذات . كان يُفترض أن هذا الحقل يدور تلقائياً ليأخذ اتجاهاً معيناً ، كما يفعل الحقل المغنطيسي في المغنطيس الدائم ـــ لا في الفضاء العادي ، ولكن بالأحرى على الأقراص الصغيرة الوهمية التي تميز الإلكترونات عن

النترينوات ، والفوتونات عن الجسيمات W و Z ، وهكذا . ويُطلق عادة على قيمة الحقل الذي يكسر التناظر اسم **القيمة الخلائية** ، لأن هذا الحقل يتخذ قيمته في الخلاء ، بعيداً عن تأثير أي جسيم . وما نزال ، بعد ربع قرن من الزمان ، نجهل ما إذا كانت هذه الصورة البسيطة لانكسار التناظر صحيحة ، ولكن يبقى أنها الإمكانية الأكثر معقولية .

وليست هذه أول مرة يقترح فيها الفيزيائيون وجود حقل أو جسيم جديد وظيفته أن يستجيب لبعض متطلبات نظرية . فقد كان الفيزيائيون في الثلاثينيات حائرين بخصوص الخرق الظاهري لقانون انحفاظ الطاقة في ظاهرة نشاط إشعاعي معروفة باسم التفكك البيتاوي . فاقترح باولي عام ١٩٣٢ وجود جسيم مناسب أسماه نترينو يحمل الطاقة التي كانت تبدو مفقودة في هذه الظاهرة . وفي النهاية اكتُشف هذا النترينو الرهيف تجريبياً بعد قرابة عشرين عاماً ، ولئن كان من قبيل المجازفة أن يُقترح وجود شيء لم يُلحظ بعد ، إلا أنه يصيب أحياناً .

وكأي حقل آخر في نظرية كمومية ، يمتلك هذا الحقل الجديد المسؤول عن انكسار التناظر في نظرية الكهرضعيفة طاقة واندفاعاً يأتيان على شكل رزم تسمى كموماً ، وتخبرنا نظرية الكهرضعيفة أن واحداً على الأقل من هذه الكموم لا بد أن يكون قابلاً للرصد كجسيم عنصري جديد . وقبل أن نصنع ، أنا وعبد السلام وبعد سنوات ، نظريتنا في القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية ، بالاستناد إلى انكسار التناظر تلقائياً كان بعض النظريين ، وأوضحهم في هذا الشأن بيتر هِغز Higgs من جامعة إيدنبورغ عام ١٩٦٤ ، قد شرحوا أمثلة رياضية بسيطة على هذا النوع من انكسار التناظر تلقائياً ، ولهذا السبب أصبح الجسيم الجديد ، الذي تتطلبه النسخة الأولى من نظرية الكهرضعيفة ، يعرف باسم **جسيم هِغز** .

لم يكتشف أحد حتى الآن جسيماً من النوع هغز ، لكن ذلك لا يناقض النظرية . فجسيم هغز لا يمكن رؤيته في التجارب التي أجريت حتى الآن إذا كانت كتلته أكبر من خمسين ضعفاً من كتلة البروتون ، وقد تكون فعلاً بهذه الضخامة . (إن نظرية الكهرضعيفة لا تقول ، مع الأسف ، شيئاً عن كتلة جسيم هغز ، باستثناء أنها تخبرنا بما يشبه اليقين أنها لا تساوي أكثر من تريليون فولت ، أي قرابة ألف ضعف من كتلة البروتون) . ونحن بحاجة إلى تجربة تخبرنا عما إذا كان يوجد فعلاً جسيم من هذا القبيل ، أو ربما عدة جسيمات وتعطينا كتلها .

إن لهذه المسائل أهمية تفوق أهمية مسألة كيفية انكسار التناظر في نظرية الكهرضعيفة . ومن الأشياء الجديدة التي تعلمناها من هذه النظرية أن كل جسيمات النموذج المعياري ، باستثناء جسيم هغز ، تستمد كتلها من انكسار التناظر بين القوة الضعيفة والقوة

الكهرطيسية . وإذا استطعنا بطريقة ماأن نتجنب هذا الانكسار يصبح الإلكترون والجسيمات W و Z والكواركات كلها عديمة الكتلة ، كالفوتون والنترينو . فمسألة فهم كتل الجسيمات العنصرية المعروفة هي إذن جزء من مسألة فهم الآلية التي يتم بها انكسار التناظر تلقائياً في نظرية الكهرضعيفة . ولما كان جسيم هغز ، في النسخة الأصلية من النموذج المعياري ، الجسيمَ الوحيد الذي تظهر كتلته في معادلات النظرية ، فإن انكسار التناظر في الكهرضعيفة يعطينا كتلاً للجسيمات الأخرى كلها متناسبةً مع كتلة جسيم هغز ، لكننا لا نملك ما يثبت أن الأمور بسيطة لهذه الدرجة .

إن أهمية سبب انكسار التناظر في الكهرضعيفة لا تقتصر على الفيزياء وحدها ، بل وتتجلى أيضاً في محاولات فهم تاريخ عالمنا في بداياته . وكما يزول التمغنط من قطعة الحديد عندما نسخنها إلى أكثر من ٧٧٠ درجة مئوية ، فيسترد التناظر عندئذ حقوقه بين شتى اتجاهات الفضاء ، يمكن أن يُسترد التناظر بين القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية ، إذا سخّنا مختبرنا إلى أكثر من بضعة ملايين من مليار درجة . ففي مثل هذه السخونات لن يبقى التناظر خفياً ، بل يصبح ظاهراً بوضوح في خصائص جسيمات النموذج المعياري . (في هذه السخونات يصبح الإلكترون والجسيمات W و Z والكواركات كلها عديمة الكتلة) . لكن هذه السخونات لا يمكن بلوغها في المختبر وغير موجودة اليوم ولو في مراكز أسخن النجوم . ولكن أبسط نسخ النظرية المقبولة عموماً في الانفجار الأعظم الكوني تقول بأن درجة حرارة العالم كانت في وقت من الأوقات ، مضى عليه الآن قرابة عشرة مليارات عام أو عشرين ، لا نهائية الكبر ؛ وأن بعد واحد من عشرة مليارات جزء من الثانية من هذا الانفجار هبطت درجة حرارة العالم إلى بضعة ملايين من مليارات الدرجة ، وعندئذ أصبح التناظر مكسوراً بين القوة الضعيفة والقوة الكهرطيسية .

من الأرجح أن هذا الانكسار لم يحدث فورياً وبشكل متجانس . فعلى شاكلة « الانتقالات الطورية » المعروفة مثلاً في انجماد الماء أو تمغنط الحديد يمكن أن يحدث الانتقال إلى التناظر المكسور قبل هذه السخونة أو بعدها بقليل وفي هذا المكان أو ذاك ، وقد لا يحدث بطريقة واحدة في كل الأمكنة ؛ كما نرى ذلك أيضاً في أثناء تشكل بلورات صغيرة من الجليد منثورة ضمن الماء أو تشكل مناطق في الحديد يتوجه فيها التمغنط في اتجاهات متفاوتة . وهذا النوع من التعقيد ، في الانتقال الطوري الكهرضعيفي ، يمكن أن يكون له مفعولات متنوعة يمكن رصدها من خلال تأثيرها ، مثلاً ، في وفرات العناصر الكيميائية الخفيفة التي تشكلت بعد بضع دقائق من هذا الانتقال . لكننا لا نستطيع أن نؤكد هذه الإمكانية ما لم نعرف آلية الانتقال إلى التناظر الكهرضعيفي المكسور .

نحن نعلم أن بين القوة الضعيفة والقوة الكهرطيسية تناظراً مكسوراً ، لأن النظرية التي تعتمد على هذا التناظر **شغالة** ــ أحرزت عدداً كبيراً من النبوءات الناجحة حول خصائص الجسيمات W و Z والقوى التي تنقلها . ولكننا لسنا متأكدين من أن التناظر الكهرضعيفي ينكسر بفعل القيمة الخلائية لحقل ما ، في النظرية ، أم بوجود جسيم هغز . إذ لا بد من **شيء** يوضع في نظرية الكهرضعيفة كي يكسر هذا التناظر ؛ لكن من الممكن أن يكون هذا الانكسار ناجماً عن مفعولات غير مباشرة لقوة فائقة الشدة لا تؤثر في الكواركات العادية أو الإلكترونات أو النترينوات ، ولهذا السبب لم نشاهدها بعد . وقد صُنعت نظريات من هذا القبيل في أواخر السبعينيات ولكنها تنطوي على مشاكل أصيلة فيها . وأحد الأهداف الرئيسية للمصادم الفائق الناقلية ، الذي هو قيد الإنشاء الآن ، يتناول حسم هذه القضية .

ليست هذه نهاية قصة انكسار التناظر تلقائياً . بل إن فكرته قد لعبت دوراً في مساعينا لإدخال القوة الثالثة للنموذج المعياري ، القوة النووية الشديدة ، ضمن الإطار الموحد نفسه الذي يحوي القوة الضعيفة والقوة الكهرطيسية . فبرغم أن الفروق الواضحة بين هاتين القوتين تتفسر في النموذج المعياري على أساس أنها نتيجة لانكسار التناظر تلقائياً ، نعلم أن ذلك ليس صحيحاً في حال القوة النووية الشديدة ؛ إذ لا يوجد هنا أي تناظر ولو في معادلات النموذج المعياري التي تربط القوة الشديدة بزميلتيها الضعيفة والكهرطيسية . وهذا ما أدى ، في أوائل السبعينيات ، إلى بدء البحث عن نظرية تستند إلى النموذج المعياري وتتحد فيها القوى الثلاث معاً بفعل مجموعة وحيدة واسعة تضم تناظرات تنكسر تلقائياً .

كان ذلك عقبة كبيرة على طريق أي نوع من التوحيد ينحو النحو الموصوف أعلاه . فشدات هذه القوى ، كما تظهر في أية نظرية حقلية ، تتعلق بنوعين من الوسائط العددية : كتل الجسيمات (إن كان لها كتل) ، مثل W و Z ، التي تنقل القوى ، وبعض **الشدات الأصيلة** (المعروفة أيضاً باسم ثوابت الاقتران Coupling) التي تحدد احتمال صدور الجسيمات ، كالفوتونات والغليونات والجسيمات W و Z ، واستردادها بالامتصاص في أثناء التفاعلات بين الجسيمات . إن الكتل تنشأ من انكسار التناظر تلقائياً ، لكن الشدات الأصيلة أعداد تظهر في المعادلات الأساسية للنظرية . وأياً كان التناظر الذي يربط الشديدة بالضعيفة والكهرطيسية فإن من شأنه ، ولو كان مكسوراً تلقائياً ، أن يفرض على الشدات الأصيلة (مع اصطلاح مناسب لكيفية تعريفها) للقوى الثلاث أن تكون متساوية كلها . لكن الفروق البادية فيما بين شدات القوى يجب أن تُعزى إلى انكسار التناظر تلقائياً ، الانكسار الذي يولِّد الفروق فيما بين كتل الجسيمات التي تنقل هذه القوى ، وذلك على شاكلة نشوء الفروق بين الضعيفة والكهرطيسية في النموذج المعياري من واقع أن انكسار

التناظر الكهرضعيفي يعطي الجسيمات W و Z كتلاً كبيرة جداً في حين أن الفوتون يُترك بدون كتلة . ولكن الواضح أن الشدة الأصيلة للقوة النووية الشديدة **لا** تساوي الشدة الأصيلة للقوة الكهرطيسية ؛ فالقوة النووية الشديدة ، كما يدل اسمها ، أشد بكثير من القوة الكهرطيسية ، رغم أنهما كلتيهما تُنقلان على جسيمات عديمة الكتل : الغليونات والفوتونات .

وفي عام ١٩٧٤ ظهرت فكرة تعطي طريقة للالتفاف على هذه العقبة . ذلك أن الشدات الأصيلة لكل هذه القوى تتعلق حالياً تعلقاً ضعيفاً جداً بطاقة العمليات التي تقاس فيها هذه الشدات . وهذا من شأنه أن يجعلنا نتوقع من الشدات الأصيلة ، في أية نظرية توحد القوى الثلاث معاً ، أن تكون متساوية في **طاقة ما** ، لكن هذه الطاقة قد تكون أعلى بكثير من الطاقات المتوفرة في التجارب الحالية . بيد أن النموذج المعياري يحوي ثلاث شدات أصيلة للقوى (وهذا أحد أسباب عدم رضانا عنه كنظرية نهائية) ؛ فليس إذن من الشروط التافهة أن توجد **أية** طاقة واحدة توجب على الشدات الثلاث أن تتساوى عندها . وقد أمكن بفرض هذا الشرط صنع نبوءة واحدة تربط ما بين الشدات التي يجب أن تمتلكها القوى عند طاقات التجارب الحالية ، وهي نبوءة تبين أنها على اتفاق معقول مع التجربة . وبرغم أنه النجاح الكمي الوحيد فهو كافٍ ليولد عندنا ما يشبه الاقتناع بأن في هذه الأفكار شيئاً لا بأس به .

وكان من الممكن أيضاً تقدير الطاقة التي تتساوى عندها الشدات الأصيلة للقوى الثلاث . فنحن نعلم أن القوة النووية الشديدة أقوى بكثير من القوتين الأخريين عند طاقات المسرعات الحالية ؛ وبموجب الكروموديناميك الكمومي تتناقص شدتها ببطء كبير لدى تزايد الطاقة ، مما يجعلنا نتنبأ بأن الطاقة التي تتساوى عندها الشدات الثلاث لا بد أن تكون عالية جداً : يدل الحساب على أنها من رتبة 10^{24} فولت (تدل الحسابات الأخيرة على أنها أقرب إلى 10^{25} فولت) . فإذا كان يوجد حقاً انكسار تلقائي للتناظر يربط القوة الشديدة بالقوة الكهرضعيفة ، فلا بد أن توجد جسيمات جديدة لاستكمال أسرة الجسيمات التي تحمل القوى ، إضافة لـ W و Z والفوتون والغليونات . وفي هذه الحالة يمكن لطاقة تبلغ بضعة 10^{24} فولت أن تُعتبر على أساس أنها الطاقة المحتواة ككتلة في هذه الجسيمات الجديدة الثقيلة . لكن النظريات الوترية الفائقة الأخيرة لا تستدعي ، كما سنرى ، افتراض وجود تناظر جديد آخر يربط الشديدة بالكهرضعيفة ؛ لكن يبقى أن الشدات الأصيلة لا بد أن تتساوى كلها عند طاقة عالية معينة يشير الحساب إلى أنها تبلغ قرابة 10^{25} فولت .

قد يبدو ذلك كمجرد عدد هائل لا يمكن استيعابه ، ولكنه عندما قُدِّر عام ١٩٧٤

بدأ يقرع الأجراس في أذهان الفيزيائيين النظريين . ونحن نعرف كلنا طاقة أخرى كبيرة جداً تظهر بشكل طبيعي في النظريات التي تسعى لتوحيد الثقالة مع القوى الأخرى الطبيعية . ففي الظروف العادية تكون الثقالة أضعف بكثير جداً من القوى الضعيفة والشديدة والكهرطيسية ؛ إذ لم يلحظ أحد قط أي مفعول للقوى الثقالية بين الجسيمات ضمن الذرة الواحدة أو الجزيء الكيميائي ، ولا يوجد ما يدعو كثيراً لأخذها هناك بعين الاعتبار (والسبب الوحيد الذي يجعلنا نشعر بالثقالة وكأنها قوة كبيرة في حياتنا اليومية هو أن الأرض تحوي عدداً هائلاً من الذرات يسهم كل منها بقسط ضئيل في الحقل الثقالي عند سطح الأرض) . لكن النسبية العامة تقول بأن الثقالة ناجمة عن الطاقة وتؤثر فيها كالكتلة سواء بسواء . وهذا هو السبب في انعطاف الفوتونات ، وهي جسيمات طاقة ليس لها كتلة ، بفعل حقل الشمس الثقالي . وفي الطاقات العالية جداً تصبح قوة الثقالة بين أي جسيمين كتلويين عنصريين ذات شدة تضاهي شدة أية قوة أخرى بينهما . والطاقة الذي يحدث فيها ذلك تبلغ قرابة ١٠ ^٢٧^ فولت ، وهي معروفة باسم طاقة بلانك(*) .

إن من المذهل أن تكون طاقة بلانك تساوي فقط قرابة مئة ضعف من الطاقة التي تتساوى عندها الشدات الأصيلة للقوى الثلاث ، الشديدة والضعيفة والكهرطيسية ، رغم أن هاتين الطاقتين كلتيهما أعلى بكثير جداً من الطاقات التي نصادفها عادة في فيزياء الجسيمات العنصرية . ومن واقع الفرق الصغير نسبياً بين هاتين الطاقتين الهائلتين نستوحي بما يشبه اليقين أن أي انكسار تناظري يوحِّد النووية الشديدة مع الكهرضعيفة ليس سوى جزء من انكسار تناظري أكثر أساسية ، انكسار أي تناظر يربط الثقالة بالقوى الطبيعية الأخرى . وقد لا يوجد نظرية لوحدها توحد القوى الثلاث فقط ، الشديدة والضعيفة والكهرطيسية ، بل نظرية توحد الثقالة حقاً مع هذه القوى الثلاث جميعاً .

ومما يؤسف له أن السبب في إبقاء الثقالة خارج النموذج المعياري يعود إلى صعوبة توصيفها بلغة نظرية حقل كمومية . وكل ما نستطيع فعله هو تطبيق قواعد ميكانيك الكم على معادلات الحقل في النسبية العامة ، ولكننا ندخل عندئذ في صلب مشكلة اللانهائيات . فإذا حاولنا مثلاً حساب احتمالات ما يحدث في تصادم غرافيتونين (الجسيمات التي تجسد الحقل الثقالي) نحصل على إسهامات محسوسة تماماً ناجمة عن تبادل غرافيتون واحد بين الغرافيتونين المتصادمين ؛ ولكننا عندما نخطو خطوة أخرى تأخذ في الحسبان تبادل غرافيتونين تبدأ صعوبات الاحتمالات اللانهائية . ولئن كان بالإمكان أن نطرد هذه اللانهائيات بتعديل

* في عام ١٨٩٩ لاحظ بلانك أن تلك هي في الواقع الوحدة الطبيعية للطاقة ، الوحدة التي يمكن حسابها من معرفة سرعة الضوء ، والثابتة التي تحمل اسمه ، والثابتة الواردة في قانون نيوتن الثقالي .

معادلات الحقل في النسبية العامة، وذلك بإدخال حد جديد ذي مضروب ثابت لا نهائي يتنافى مع اللانهائي الأول، **إلا أننا نحصل على لا نهائيات جديدة عندما نأخذ في الحسبان تبادل ثلاثة** غرافيتونات، وهذه اللانهائيات الجديدة يمكن أن تنتفي بإضافة حدود أخرى إلى معادلات الحقل، وهكذا دواليك إلى أن نبلغ نظرية ذات عدد غير محدود من الثوابت المجهولة. والنظرية التي من هذا القبيل تفيد حالياً في حساب العمليات الكمومية في طاقات منخفضة نسبياً حيث تكون الحدود الجديدة المضافة إلى معادلات الحقل صغيرة يمكن إهمالها؛ لكن النظرية تفقد عندئذ كل قدرتها التنبؤية عندما نطبقها على الظواهر الثقالية في طاقة بلانك. إن حساب العمليات الفيزيائية في طاقة بلانك أمر يفوق إمكاناتنا الحالية.

لا توجد بالطبع دراسات تجريبية للعمليات الفيزيائية عند طاقة بلانك (أو في الواقع قياس أية عملية ثقالية كمومية كتصادم غرافيتونين بأية طاقة)، ولكن قبول النظرية، مهما كانت، لا يأتي فقط من اتفاقها مع نتائج التجارب التي أُجريت قبلها، بل يجب عليها أيضاً أن تعطي نبوءات بنتائج تجارب يمكن تنفيذها مبدئياً على الأقل. فالنسبية العامة، مثلاً، ظلت عدة سنوات في وضع لا يختلف عن وضع نظرية التفاعلات الضعيفة، قبل أن تنضج نظرية الكهرضعيفة في أواخر الستينيات: إن النسبية العامة شغالة بشكل جيد جداً في كل ما أمكن اختباره بالتجربة، ولكنها تنطوي على تناقضات داخلية تدعو إلى ضرورة تعديلها.

إن قيمة طاقة بلانك تضعنا في مواجهة مسألة جديدة رهيبة، لا لأن هذه الطاقة عالية جداً ــ إنها تقع في مستوى من الفيزياء عميق لدرجة أن نستطيع افتراضها الوحدة **الأساسية للطاقة التي ستظهر في معادلات النظرية النهائية. لكن اللغز هو: لماذا كانت الطاقات الأخرى كلها صغيرة لهذه الدرجة؟** خصوصاً وأن كتل الإلكترون و W و Z والكواركات كلها متناسبة، في النسخة الأصلية للنموذج المعياري، مع كتلة واحدة تظهر في معادلات النموذج، هي كتلة جسيم هغز. فمما نعرفه عن كتل الجسيمات W و Z نستطيع استنتاج أن الطاقة في كتلة جسيم هغز لا يمكن أن تزيد عن ١٠^١٢ فولت. وهذه أصغر من طاقة بلانك بمئة مليون مرة على الأقل، وهذا يعني أيضاً وجود تسلسل «وظيفي» في التناظرات، أي: مهما كان التناظر الذي يوحِّد الثقالة مع النووية الشديدة والكهرضعيفة، فإن انكساره يكون أقوى بمئة مليون مليون مرة من انكسار التناظر الذي يوحِّد النووية الضعيفة مع الكهرطيسية. وهذا اللغز في تفسير الفرق الهائل بين الطاقات الأساسية هو المعروف اليوم في فيزياء الجسيمات العنصرية باسم **مسألة التسلسل**.

لقد ظلت مسألة التسلسل أكثر من خمسة عشر عاماً أسوأ عظمة في حلق الفيزياء النظرية. وكانت ضرورة حلها الدافع الأساسي لكثير من التكهنات النظرية في السنوات

الأخيرة. إنها ليست مفارقة ـــ لا يوجد سبب يدعو بعض الطاقات في المعادلات الأساسية أن **لا** تكون أصغر من بعضها الآخر بمئة مليون مليون مرة ـــ بل هي لغز؛ وهذا ما يجعلها بالغة الصعوبة. لأن المفارقة في جريمة قتل حصلت في غرفة موصدة قد توحي للمحقق بحل نابع منها، لكن اللغز البحت يجبرنا على البحث عن مفاتيح تتجاوز المسألة نفسها.

لقد ظهرت في تناول مسألة التسلسل فكرة جديدة تستند إلى نوع جديد من التناظر عُرف باسم **التناظر الفائق**، وهو يربط فيما بين جسيمات متخالفة السبين بما يجعلها تُشكل «أسراً فائقة». ويوجد في نظريات التناظر الفائق عدة جسيمات هِغزية، لكن التناظر يمنع وجود أي من كتل هذه الجسيمات في المعادلات الأساسية للنظرية؛ لأن ما نسميه كتل جسيمات هغز يجب أن تبرز من مفعولات دينامية معقدة تكسر التناظر الفائق. وفي تناول آخر ذكرناه سابقاً نتخلى عن فكرة حقل تكسر قيمته الخلائية التناظر الكهرضعيفي، وبدلاً من ذلك نعزو انكسار هذا التناظر إلى مفعولات قوة جديدة فوقية الشدة.

لكننا مع الأسف لم نلمح بعد أية سمة من سمات التناظر الفائق أو القوة الفوقية الشدة. لكن هذا الواقع ليس بعدُ حجة حاسمة ضد هذه الأفكار؛ والجسيمات الجديدة المتوقعة من تناول مسألة التسلسل بهذه الطرائق قد تكون بالفعل أثقل من أن تُنتَج بواسطة المسرِّعات القائمة اليوم.

إننا نتوقع أن يستطاع اكتشاف جسيمات هغز، وسواها من الجسيمات الجديدة التي تتطلبها مختلف تناولات مسألة التسلسل، بواسطة مسرع جسيمات جديد كالمصادم الفائق الناقلية. ولكن لا يوجد وسيلة لأي مفاعل نتصوره الآن يستطيع بها أن يركز على جسيمات إفرادية الطاقة العالية التي تتوحد عندها كل القوى. فعندما تكهن ديمقريطس ولوسيبوس بالذرات في مدينة أبديرا لم يكن باستطاعتهما أن يتصورا أن هذه الذرات أصغر بمليون مرة من حبيبات الرمل على شاطئ بحر إيجه، أو أن ٢٥٠٠ عام سوف تمر قبل أن يوجد برهان مباشر على وجود الذرات. وقد ذهبت بنا الآن تكهناتنا إلى تخوم خليج أبعد وأوسع: فنحن نعتقد الآن أن كل قوى الطبيعة تصبح موحدة عند طاقة، طاقة بلانك، أكبر بمليون مليار مرة من أعلى طاقة تبلغها مسرعات اليوم.

إن اكتشاف هذا الخليج العظيم قد غير وجه الفيزياء بما يذهب إلى أبعد من مسألة التسلسل، لا لشيء إلا لأنه ألقى ضوءاً جديداً على مسألة اللانهائيات القديمة. ففي النموذج المعياري، كما في الإلكتروديناميك الكمومي الأقدم، يكون لإصدار وامتصاص الفوتونات، وسواها من الجسيمات التي لا حدود لطاقاتها، إسهامات لا نهائية في طاقة الذرة والكميات

الأخرى القابلة للرصد. وللتعامل مع هذه اللانهائيات كان لا بد للنموذج المعياري من أن يكون متميزاً بقابلية إعادة الاستنظام؛ بمعنى أن كل اللانهائيات في النظرية يجب أن تنتفي بلا نهائيات أخرى مستمدة من تعريف الكتل العزلاء وسواها من الثوابت التي تدخل في معادلات النظرية. وقد كان هذا الشرط عاملاً فعالاً في عملية بناء النموذج المعياري؛ والنظريات القابلة لإعادة الاستنظام هي فقط النظريات التي تمتلك أبسط معادلات حقل ممكنة. ولكننا نعتقد الآن، بسبب بقاء الثقالة خارج النموذج المعياري، أنه في الطاقات المنخفضة مجرد صورة تقريبية من نظرية حقلية أساسية أعمق فعلاً وأنه يفقد مصداقيته عند طاقات من رتبة طاقة بلانك. فلماذا نتمسك إذن بما يخبرنا به عن مفعولات إصدار وامتصاص جسيمات لا حدود لطاقتها؟ وإذا لم نحمله على محمل الجد، لماذا نطلب منه أن يكون قابلاً لإعادة الاستنظام؟ هذا لأن مسألة اللانهائيات ما تزال معنا، وسوف تظل مطروحة في النظرية النهائية، لا في حال نموذج تقريبي يصلح للطاقة المنخفضة كالنموذج المعياري.

وكنتيجة لتفحص مسألة اللانهائيات من جديد نعتقد الآن أن معادلات الحقل للنموذج المعياري ليست من النوع البسيط جداً القابل لإعادة الاستنظام، ولكنها تحوي في الواقع كل ما يمكن تصوره من حدود تتفق مع تناظرات النظرية. ولكننا يجب عندئذ أن نعرف لماذا كانت النظريات الحقلية القديمة القابلة لإعادة الاستنظام، كأبسط نسخ الإلكتروديناميك الكمومي أو النموذج المعياري، تعمل بهذا الشكل الجيد. وفي رأينا يمكن عزو السبب إلى أن كل الحدود في المعادلات الحقلية، باستثناء الحدود البسيطة جداً القابلة لإعادة الاستنظام، تظهر بالضرورة في هذه المعادلات وهي مقسومة على شيء، كطاقة بلانك، مرفوع إلى أُسس شتى. ومفعول هذه الحدود على أية عملية فيزيائية قابلة للرصد من شأنه أن يكون متناسباً مع أسس حاصل قسمة طاقة العملية على طاقة بلانك وهي نسبة قد يبلغ صغرها واحداً من مليون مليون وهذا عدد صغير لدرجة أن لا يكون له مفعول يمكن كشفه. أو، بتعبير آخر، أن شرط قابلية الاستنظام، الذي كان يقود تفكيرنا من الإلكتروديناميك الكمومي في الأربعينيات إلى النموذج المعياري في الستينيات والسبعينيات، كان الشرط الملائم لأغراض عملية، رغم أنه كان مفروضاً لأسباب لم تعد مقنعة.

إن لهذا التغير في وجهة النظر نتائج ذات أهمية كامنة كبيرة. فقد كان للنموذج المعياري في أبسط أشكاله القابلة لإعادة الاستنظام قوانين انحفاظ «عَرَضية» علاوة على قوانين الانحفاظ التي تنجم عن تناظرات النسبية الخاصة وعن التناظرات الداخلية التي تفرض وجود الفوتون والجسيمات W و Z والغليونات؛ ومن ضمن قوانين الاحفاظ هذه قانون انحفاظ عدد الكواركات (الفرق بين عدد الكواركات وعدد الكواركات المضادة) وعدد اللبتونات

(الفرق بين مجموع أعداد الإلكترونات والنترينوات واللبتونات الأخرى وبين مجموع أعداد جسيماتها المضادة). وعندما نحصي كل الحدود الممكنة في معادلات الحقل والمتفقة مع التناظرات الأساسية للنموذج المعياري ومع شروط قابلية الاستنظام، لا نجد في معادلات الحقل أي حد يمكن أن يخرق قوانين الانحفاظ هذه. فانحفاظ عددي الكواركات واللبتونات هو الذي يمنع كواركات البروتون الثلاثة من أن تتفكك إلى بوزترون وفوتون، مما يعني أن هذا الانحفاظ هو الذي يضمن استقرار المادة العادية. ولكننا نعتقد الآن أن الحدود المعقدة وغير القابلة لإعادة الاستنظام والتي يمكن أن تخرق قانون انحفاظ عدد الكواركات وعدد اللبتونات، موجودة في معادلات الحقل إلا أن قيمها صغيرة جداً. ولئن كانت هذه الحدود الصغيرة جداً تبيح تفكك البروتون (إلى بوزترون، مثلاً، وفوتون أو جسيم حيادي آخر)، إلا أن هذا التفكك يحتاج إلى زمن وسطي طويل جداً تدل التقديرات الأولية على أنه من رتبة ١٠^٣٢ سنة، وربما أقل أو أكثر بقليل. وعدد هذه السنين يساوي تقريباً عدد البروتونات الموجودة في مئة طن من الماء؛ وهذا يعني، إن كان ذلك صحيحاً، أن بروتوناً واحداً من بروتونات هذه الأطنان المئة يتفكك في العام الواحد وسطياً. وقد أقيمت منشآت تجريبية ضخمة لرصد تفكك البروتون ولسنوات عديدة؛ وسيعمد اليابانيون قريباً إلى إقامة منشأة ترصد بعناية عشرة آلاف طن من الماء لكشف تفكك البروتون من خلال الومضات الضوئية التي تصاحب هذا التفكك، وقد يرون شيئاً من هذا القبيل في المستقبل(*).

ولكن في أثناء ذلك ظهرت ملامح محيرة تنبئ عن إمكانية انتهاك قانون انحفاظ عدد اللبتونات. وهذا القانون مسؤول، في النموذج المعياري، عن انعدام كتل النترينوات، وانتهاكه يعني أن تكون النترينوات ذات كتل ضئيلة، حوالي واحد من مئة أو واحد من ألف من الفولت. (أي قرابة واحد من مليار من كتلة الإلكترون). ولئن كانت هذه الكتلة أصغر بكثير من أن يتاح اكتشافها في التجارب المخبرية التي أجريت حتى الآن، إلا أنها يمكن أن يكون لها مفعول رهيف، مفعول يتيح للنترينوات التي نشأت بشكل نترينوات إلكترونية (أي أعضاء من الأسرة التي ينتمي لها الإلكترون) أن تتحول ببطء إلى نترينوات من أنواع أخرى. وهذا قد يفسر لغزاً قديماً مفاده أن عدد النترينوات الواصلة إلينا من الشمس أقل من العدد المتوقع؛ ذلك لأن معظم النترينوات التي تنشأ في أحشاء الشمس هي من النوع الإلكتروني، والكواشف التي نستعملها على الأرض حساسة للنترينوات الإلكترونية خصوصاً؛ فقد تكون بعض هذه النترينوات قد تحولت في أثناء اختراقها لجسم الشمس إلى نترينوات من النوعين

* الواقع أن هذه المنشأة قد أقيمت ولكن دون جدوى حتى كتابة هذه السطور. **المترجم**

الآخرين(*) . وتجارب اختبار هذه الفكرة بكواشف من عدة أنواع قائمة الآن في داكوتا الجنوبية واليابان والقوقاز وإيطاليا وكندا .

قد نكتشف ، إذا كنا محظوظين ، برهاناً تجريبياً واضحاً على تفكك البروتون أو كتل أنواع النترينو أو ربما نجد برهاناً على التناظر الفائق من خلال تجارب تستخدم التصادم بين بروتونات وبروتونات مضادة في مصادم فرميلاب أو بين إلكترونات وبوزترونات في مصادم سيرن (في جنيف) . لكن كل ذلك يسير ببطء السلحفاة ، لدرجة أن المحاضرات الملقاة في مؤتمرات فيزياء الطاقة العالية التي انعقدت في السنوات العشر الأخيرة كانت تخلص إلى قائمة واحدة تعطي الاختراقات المتاحة . وهذا يختلف عما كان يحدث في الماضي حين كان طلاب الدراسات العليا يتسابقون كل شهر في ممرات أقسام الفيزياء لينشروا أخبار اكتشاف جديد . ومن مظاهر احترام الأهمية الأساسية لفيزياء الجسيمات العنصرية أن يستمر توافد الطلاب اللامعين جداً إلى حقل علمي لا يحدث فيه الآن إلا القليل .

يمكن أن نكون على ثقة من اختراق هذا المأزق إذا تم بناء المصادم الكبير ذي الناقلية الفائقة . فهو قد صُمم ليعطي طاقة وشدة تكفيان لحسم مسائل آلية انكسار التناظر الكهرضعيف ، سواء من خلال اكتشاف جسيم واحد أو أكثر من جسيمات هغز أو اكتشاف ملامح قوى شديدة جديدة . وإذا كان حل مسألة التسلسل تناظراً فائقاً فسيتيح هذا المصادم اكتشاف ذلك أيضاً . ومن جهة أخرى ، إذا حصل اكتشاف قوى شديدة جديدة ، فإن المصادم الفائق لا بد أن يعطينا تشكيلة جديدة متنوعة ذات كتل تبلغ ألف مليار فولت أو نحوها ، وهو مجال لا بد أن نتحراه قبل أن نستطيع تخمين ما يحدث في طاقات أعلى بكثير ، حيث تتوحد القوى كلها ، بما فيها الثقالة . وفي كل هذه الأحوال سوف تتقدم فيزياء الجسيمات من جديد . إن الحملة التي يشنها فيزيائيو الجسيمات من أجل المصادم الفائق كانت بدافع من الشعور باليأس ، ومن الشعور بأن المعطيات التجريبية المستمدة من مثل هذا المصادم هي القادرة وحدها على إعطائنا اليقين بأن عملنا سوف يستمر .

---

* أنواع النترينوات ثلاثة : الإلكتروني والميوني والتاوي . المترجم

الفصل التاسع

ملامح نظرية نهائية

إذا استطعت أن تشاهد أعماق بذور الزمن ، وأن تميز الحبة
التي ستنمو عن التي لن تنمو ، عندئذ تعال وحدثني .

William Shakespeare, Macbeth

قد تكون النظرية النهائية بعيدة عنا قروناً وقد تكون مختلفة عن كل ما نستطيع تصوره الآن . لكن هب أنها أقرب إلينا من حبل الوريد . فماذا نستطيع أن نخمن بخصوصها بالاستناد إلى ما نعرفه الآن .

إن الجزء الذي يبدو لي أنه سيظل قائماً كما هو ، في أية نظرية نهائية ، هو ميكانيك الكم . لا لأنه فقط أساس كل ما نعرفه الآن عن المادة والقوى وأنه قد نجح نجاحاً باهراً في الاختبارات التجريبية ؛ لكن الأهم أنك لا تجد أحداً استطاع أن يستبدل به أية فكرة تحتفظ بنجاحاته دون أن تفضي إلى تناقضات منطقية .

ورغم أن ميكانيك الكم يوفر مسرحاً تجري عليه كل الظواهر الطبيعية ، إلا أنه بحد ذاته مسرح خالٍ . فهو يتيح لنا أن نتصور تشكيلة كبيرة من المنظومات الفيزيائية المتنوعة : منظومات تضم كل أنواع الجسيمات المتفاعلة وكل أنواع القوى ، حتى ولو كانت منظومات خالية تماماً من أي جسيم . إن تاريخ الفيزياء في القرن العشرين قد اتسم بنمو تدريجي لإنجازٍ هو مبادئ التناظر التي تفرض الممثلين في المسرحية التي نشاهدها على المسرح الكمومي . فنموذجنا المعياري الحالي في القوى الثلاث ، الضعيفة والكهرطيسية والشديدة ، يعتمد على التناظرات : التناظرات الزمكانية في النسبية الخاصة تتطلب أن يصاغ النموذج المعياري كنظرية حقلية ، والتناظرات الداخلية التي تفرض وجود الحقل الكهرطيسي والحقول الأخرى التي تحمل قوى النموذج المعياري . والثقالة أيضاً يمكن أن تُفهم على أساس مبدأ تناظر في النسبية العامة يفرض على قوانين الطبيعة أن لا تتغير من جراء أي تغيير نجريه على توصيف المواضع المكانية والزمانية .

وبالاستناد إلى خبرة قرن من الزمان نفترض عموماً أن النظرية النهائية سوف تستند إلى مبادئ تناظر . ونتوقع من هذه التناظرات أن تُوحد الثقالة مع الثلاث الأساسية الأخرى الموجودة اليوم في النموذج المعياري . ولكننا ما نزال نجهل كنه هذه التناظرات ، ولا نملك في الثقالة نظرية كمومية مرضية على صعيد الرياضيات وتضم التناظر الأساسي للنسبية العامة .

ربما يكون الوضع مختلفاً الآن . فقد شهدت العقود الزمنية الأخيرة نشوء إطار جديد كلياً لنظرية في الثقالة وربما لكل شيء آخر — نظرية الأوتار . لقد قدمت لنا هذه النظرية أول فكرة معقولة مرشحة لأن تحتل منصب نظرية نهائية .

تعود جذور نظرية الأوتار إلى عام ١٩٦٨ ، عندما كان نظريو الجسيمات العنصرية يحاولون فهم القوى النووية الشديدة دون الاعتماد على نظريات كمومية في الحقول ، حين بلغت هذه النظريات آنئذ أدنى نقطة في شعبيتها . كان يوجد آنئذ في سيرن فيزيائي نظري شاب ، اسمه غابرييل فينيزيانو ، خطرت له فكرة أن يحرز صيغة من شأنها أن تعطي ، في حال تصادم جسيمين ، احتمالات انعطافهما بدلالة الطاقات وزوايا الانعطاف وأن تمتلك الخصائص العامة التي تتطلبها مبادئ النسبية وميكانيك الكم . وباستخدام أدوات رياضية معروفة ، يتعلمها كل طالب فيزياء في إحدى سني دراسته ، تمكن هذا الشاب من صنع صيغة مذهلة ببساطتها وتستجيب لكل هذه الشروط . وكان أن لفتت هذه الصيغة قدراً كبيراً من الانتباه ؛ وما لبثت أن حظيت على يدي عدة نظريين بتعميم على عمليات أخرى وأصبحت أساساً لمخطط منهجي تقريبي . لم يخطر في ذلك الوقت ببال أحد أي تطبيق لهذه الصيغة على نظرية كمومية في الثقالة ؛ فقد تم هذا العمل بدافع من الأمل في فهم القوى النووية الشديدة . (كان ذلك قبل نظرية القوى الشديدة بعدة سنوات ، نظرية الحقل الكمومية المعروفة باسم الكروموديناميك الكمومي) .

ثم تبين من خلال هذا العمل أن صيغة فينيزيانو وامتداداتها وتعميماتها لم تكن مجرد تخمين سعيد ، بل إنها نظرية في كيان من نوع جديد : **وتر** ميكانيكي كمومي نسبوي . إن الأوتار العادية مؤلفة طبعاً من حشد خطي قوامه بروتونات ونترونات وإلكترونات ، ولكن هذه الأوتار الجديدة شيء آخر : إنها **هي** الأشياء التي تفترض النظرية أن البروتونات والنترونات مصنوعة منها . لم يكن ما حدث أن إنساناً قد نزل عليه فجأة وحي بأن المادة مصنوعة من أوتار ثم راح يصنع نظرية تستند إلى هذه الفكرة ، بل إن نظرية الأوتار قد جاءت قبل أن يدرك أي إنسان أنها **كانت** نظرية أوتار .

يمكن أن نتصور هذه الأوتار وكأنها مِزَق صغيرة جداً ووحيدة البعد في النسيج

الأملس للفضاء(*) . يمكن للأوتار أن تكون مفتوحة ، ذات طرفين حرَّين ، أو مغلقة كحلقة مطاطة . وفي أثناء طيرانها في الفضاء تأخذ بالاهتزاز . وكل وتر يمكن أن يوجد في أية حالة من عدد لا نهائي من حالات (**أو أساليب**) اهتزازية متاحة ، وهذه الأساليب تشبه كثيراً الأنغام المتنوعة التي تصدر عن اهتزاز وتر الكمان . إن اهتزازات أوتار الكمان العادي تتخامد بمرور الزمن لأن طاقة اهتزاز وتر الكمان تتحول بالتدريج إلى حركة عشوائية تقوم بها ذرات مادته وتتجلى لنا بشكل حرارة . أما الأوتار التي نتحدث عنها هنا فهي أساسية حقاً وتحتفظ باهتزازها إلى الأبد ؛ إنها ليست مصنوعة من ذرات أو شيء آخر ، ولا يوجد لطاقتها الاهتزازية مكان تذهب إليه .

المفروض أن أوتارنا هنا صغيرة جداً ، مما يجعل الوتر يبدو من مسافة غير قريبة جداً جسيماً نقطياً . وبما أن الوتر يمكن أن يكون في أي من أساليبه الاهتزازية التي لا حصر لعددها ، فهو يظهر على غرار جسيم يمكن أن ينتمي إلى أي نو ع من عدد لا نهائي من أنواع ممكنة ، الأنواع التي تقابل الأسلوب الذي يتخذه الوتر في اهتزازه .

لم تكن النسخ الأولى من النظرية الوترية خالية من المشاكل . فقد دلت الحسابات على أن من بين العدد اللانهائي من أساليب اهتزاز وتر مغلق يوجد أسلوب يظهر فيه الوتر كجسيم ذي كتلة معدومة وسبين يساوي ضعفي سبين الفوتون . ولكن تذكر أن النظريات الوترية قد نشأت من جهود فينيزيانو لفهم القوى النووية الشديدة وأن هذه النظريات قد اعتُبرت في الأصل نظريات في القوى الشديدة والجسيمات التي تتأثر بها . ولم يكن يوجد جسيم معروف يتأثر بهذه القوى وله هذا السبين وكتلة معدومة ؛ وقد كنا نتوقع ، إذا وُجد جسيم من هذا القبيل ، أن يكون قد اكتُشف منذ زمن طويل ؛ فكان هذا تناقضاً خطيراً مع التجربة .

ولكن يوجد **حتماً** جسيم عديم الكتلة ذو سبين يساوي ضعفي سبين الفوتون ولا يتأثر بالقوى النووية الشديدة : إنه الغرافيتون ، جسيم الإشعاع الثقالي . زد على ذلك ما كان معروفاً منذ أوائل الستينيات وهو أن النظرية التي تنطوي على جسيم من هذا القبيل يجب أن تشبه النسبية العامة . وكان الجسيم العديم الكتلة الذي اكتُشف نظرياً في الأيام الأولى من النظرية الوترية يختلف عن الغرافيتون في خاصية واحدة مهمة هي أن تبادل هذا الجسيم العديم الكتلة من شأنه أن يُنتج قوى تشبه القوى الثقالية ولكن أشد بـ $١٠^{٣٨}$ مرة .

---

* لمزيد من المعلومات حول نظرية الأوتار ، كما يراها أنصارها وخصومها ، انظر كتابنا المترجم « الأوتار » الفائقة ، منشورات دار طلاس . **المترجم**

وكما يحدث غالباً في الفيزياء اكتشفت النظريات الوترية الحل الملائم للمسألة الخطأ . ففي أوائل الثمانينيات ظهر بالتدريج أساس جديد لفكرة أن الجسيم الجديد العديم الكتلة ، والذي اكتُشف كنتيجة رياضية للنظريات الوترية ، ليس نوعاً من التفاعل الشديد يشبه الغرافيتون ، بل الغرافيتون نفسه في الواقع . ولإعطاء القوى الثقالية الشدة الصحيحة كان من الضروري زيادة توتر الوتر في المعادلات الأساسية للنظرية الوترية زيادة كبيرة تجعل الفرق الطاقي بين أخفض حالة للوتر والحالة المنخفضة التي تليها يفوق بكثير المقدار الزهيد ، مئة مليون فولت ، الذي يميز الظواهر النووية بل هو قريب من طاقة بلانك ، ١٠^٢٧ فولت ، التي تصبح عندها الثقالة تضاهي شدة القوى الأخرى(*) . وهذه طاقة كبيرة لدرجة أن كل جسيمات النموذج المعياري ـــ الكواركات كلها والفوتونات والغليونات ... ـــ يجب أن تُعتبر أخفض طاقة يمكن أن تمتلكها أساليب الوتر الاهتزازية ؛ وإلا كان توليدها سيتطلب طاقة لا قِبَل لنا بها ، فكان سيتعذر علينا اكتشافها .

ومن وجهة النظر هذه تصبح نظريات الحقل الكمومية ، كالنموذج المعياري ، نظريات تقريبية للطاقات المنخفضة أصلها نظرية أساسية غير حقلية بتاتاً ، بل نظرية وترية . ونحن نعتقد الآن أن نظرياتنا الحقلية الكمومية تعمل بالشكل الجيد الذي نعرفه في الطاقات التي يمكن بلوغها بالمسرعات الحديثة لا لأن الطبيعة في أعماقها تتصف بأوصاف نظرية حقلية كمومية بل لأن **كل** نظرية تستجيب لمتطلبات ميكانيك الكم والنسبية الخاصة تبدو ، في الطاقات المنخفضة التي نتحراها ، كنظرية حقلية كمومية . زد على ذلك أننا نعتبر النموذج المعياري **نظرية حقلية عملية** ، ونذكر الصفة « عملية » كي نتذكر أن هذه النظريات ليست سوى تقريبات تُستعمل في الطاقات المنخفضة ، نظريات تقريبية من نظرية مختلفة عنها جداً ، قد تكون نظرية وترية . صحيح أن النموذج المعياري كان في قلب الفيزياء الحديثة ، ولكن انصرافنا عن نظرية الحقل الكمومية قد يكون نقطة الانطلاق إلى عصر جديد في الفيزياء .

بما أن النظريات الوترية تنطوي على غرافيتونات وحشد من الجسيمات الأخرى فإنه يوفر لنا وللمرة الأولى أساساً لإمكانية صنع نظرية نهائية . فبما أن الغرافيتون يبدو سمة لاصقة بأية نظرية وترية نستطيع أن نقول بأن هذه النظرية تفسر سبب وجود الغرافيتون . ويقول إدوارد ويتن ، الذي اكتشف عام ١٩٨٢ هذا الجانب من النظرية الوترية من قراءة مقالة عامة كتبها جون شوارتز والذي أصبح فيما بعد من قادة النظريين الوتريين ، إنه شعر إزاء هذا الجانب « بأعظم رعشة فكرية في حياتي » .

---

* نذكر مرة أخرى أن الفولت ، عندما يستعمل وحدة للطاقة ، يساوي الطاقة التي يكتسبها الإلكترون وهو يسري في سلك كهربائي بين نقطتين الفرق بين كمونيهما الكهربائيين فولت واحد .

يبدو أيضاً أن النظريات الوترية قد حلّت مشكلة اللانهائيات التي كانت تسمم كل النظريات الكمومية السابقة في الثقالة، ورغم أن الأوتار قد تبدو كجسيمات تشبه النقطة إلا أن أهم شيء فيها هو أنها **ليست** نقاطاً بل أشياء ذات امتداد، فاللانهائيات في النظريات الحقلية الكمومية العادية يمكن أن تُعزى إلى واقع أن الحقول تصف جسيمات نقطية. (إن قانون مقلوب المربع، مثلاً، يعطي قوة لا نهائية الكبر عندما تصبح المسافة بين إلكترونين نقطيين معدومة). أما النظريات الوترية فتبدو، بصياغتها الخاصة بها، نظيفة من كل اللانهائيات.

لقد بدأ الاهتمام الفعلي بالنظريات الوترية عام ١٩٨٤ حين برهن شوارتز، بالاشتراك مع ميكائيل غرين من معهد الملكة ماري في لندن، على وجود نظريتين وتريتين معينتين اجتازتا اختباراً في التماسك الرياضي كانت قد فشلت فيه نظريات وترية دُرست سابقاً. كانت السمة المثيرة جداً في عمل شوارتز وغرين أنه يوحي بأن النظريات الوترية ذات نوع من المتانة كنا نبحث عنه في نظرية أساسية حقاً — رغم إمكانية صوغ عدد كبير من نظريات الوتر المفتوح يبدو أن هناك نظريتين فقط لهما معنى رياضي. وقد بلغ الحماس للنظريات الوترية ذروته حين برهن فريق من النظريين على أن إحدى نظريتي غرين وشوارتز تأخذ في الطاقة المنخفضة شكلاً حدياً يشبه جداً نموذجنا المعياري في القوى الثلاث، الضعيفة والشديدة والكهرطيسية؛ كما أن فريقاً آخر («رباعي برنستون الوتري») قد وجد بضع نظريات أخرى ذات شبه بالنموذج المعياري أكبر من ذاك بكثير. وهكذا بدأ عدة نظريين يرون أن النظرية النهائية أصبحت في اليد.

ومنذئذ برد الحماس للنظرية الوترية نوعاً ما. فمن المعروف اليوم أن هناك آلاف النظريات الوترية المتماسكة رياضياً على غرار نظريتي غرين وشوارتز. وكل هذه النظريات تستجيب للتناظر الأساسي نفسه، المعروف باسم التناظر التشاكلي Conforma، لكن هذا التناظر غير مستمد من رصد الطبيعة، كمبدأ النسبية الذي وضعه أينشتاين، لكنه يبدو **ضرورياً من أجل ضمان اتفاق** النظريات مع الميكانيك الكمومي. فمن وجهة النظر هذه تُمثّل كل واحدة من ألوف النظريات الوترية استجابة خاصة بها لمطالب التناظر التشاكلي. **ويُعتقد الآن عموماً أن هذه النظريات الوترية المختلفة ليست في الحقيقة نظريات متخالفة،** بل تمثل على الأرجح طرائق شتى لحل نظرية أساسية واحدة. ولكننا لسنا متأكدين من ذلك، ولا أحد يعلم شيئاً عن هذه النظرية الأساسية.

إن لكل واحدة من ألوف «النظريات» الوترية تناظراتها الزمكانية الخاصة بها، بعضها يستجيب لمبدأ أينشتاين في النسبية، وبعضها لا يملك أي شيء يمكن أن نعتبره فضاءً عادياً

ذا ثلاثة أبعاد . ولكل نظرية وترية تناظراتها الداخلية الخاصة بها أيضاً والتي هي من نوع التناظرات الداخلية الأساس في نموذجنا المعياري الحالي بخصوص القوى الثلاث ، الضعيفة والشديدة والكهرطيسية . لكن بين النظريات الوترية والنظريات التي سبقتها فرقاً كبيراً هو أن الزمكان والتناظرات الداخلية لم توضع باليد في النظريات الوترية ، بل هي نتائج رياضية للطريقة التي تستجيب بها كل واحدة من النظريات الوترية لقواعد ميكانيك الكم (والتناظر التشاكلي المطلوب) . فالنظريات الوترية تمثل إذن إمكانية خطوة كبيرة باتجاه تفسير عقلاني للطبيعة . وقد تكون أيضاً أخصب النظريات المتماسكة رياضياً والمنسجمة مع مبادئ ميكانيك الكم ، ولا سيما أنها النظرية الوحيدة التي تنطوي على شيء يشبه الثقالة .

يوجد اليوم قسم لا بأس به من الفيزيائيين النظريين الشبان يعملون في النظريات الوترية . وقد توصل بعضهم إلى نتائج مشجعة . فقد تبين مثلاً أن من الطبيعي أن تتساوى في النظريات الوترية الشداتُ الأصيلة للقوى الكهرضعيفة والشديدة في الطاقة العالية جداً ، بسبب توتر الوتر ، حتى برغم عدم وجود تناظر يوحِّد هذه القوى . ولكن لم تظهر حتى الآن نبوءات كمية تتيح اختباراً حاسماً لنظرية وترية .

لقد أدى هذا المأزق مع الأسف إلى انشقاق في صفوف الفيزيائيين . فالنظرية الوترية ذات متطلبات كثيرة ؛ منها أن قلة من النظريين العاملين على مسائل أخرى يملكون الأساس اللازم لفهم النشرات التقنية التي تعالج النظريات الوترية ، وأن قلة من النظريين الوتريين لديهم الوقت الكافي للاستمرار في الاطلاع على شيء آخر في الفيزياء ، ولو على تجارب الطاقة العالية . ومن زملائي من ندموا على هذا التورط وبشيء من العداء للنظرية الوترية . أما أنا فلا أشاطرهم هذا الشعور . فالنظرية الوترية تزودنا بالمصدر الوحيد الآن المرشح لمنصب نظرية نهائية ــ كيف يمكن لإنسان أن يتوقع من عدد من ألمع النظريين الشبان أن **لا** يعملوا عليها ؟ ولئن كان من المؤسف أن لا تحرز النظرية الوترية حتى الآن نجاحات أكثر ، إلا أن النظريين الوتريين كسواهم يبذلون أفضل ما عندهم للعمل في ظرف صعب جداً في مسيرة الفيزياء . ولا نملك سوى الأمل في أن تحرز النظرية الوترية مزيداً من النجاح أو أن تفتح لنا التجارب باباً للتقدم في اتجاهات أخرى .

إن من سوء الحظ أن لا نعثر حتى الآن على نظرية وترية نوعية تعطي بالضبط التناظرات الزمكانية والداخلية وحشد الكواركات واللبتونات التي نراها في الطبيعة . كما أننا لم نعرف بعد كيف نحصي النظريات الوترية الممكنة أو كيف نُقدِّر حصائصها . ولحل هذه المسائل يبدو من الضروري اختراع طرائق حساب تذهب إلى أبعد من التقنيات التي كانت

تعمل بشكل جيد في الماضي . ففي الإلكتروديناميك الكمومي ، مثلاً ، نستطيع حساب مفعول تبادل فوتونين بين الإلكترونات في الذرة كتصحيح صغير لمفعول تبادل فوتون واحد ، ثم نحسب بعدئذ مفعول تبادل ثلاثة فوتونات كتصحيح أصغر من السابق ، وهكذا دواليك ؛ ونتوقف عن متابعة هذه السلسلة حين نتأكد أن التصحيحات الباقية أصغر من أن نهتم بها . وهذه الطريقة معروفة باسم نظرية الاضطراب . لكن المسائل الأساسية في النظرية الوترية تتناول عدداً لا نهائياً من الأوتار ، ولا يمكن معالجتها بنظرية الاضطراب .

لكن الأمور أسوأ من ذلك أيضاً . فحتى لو كنا نعرف كيف نتعامل رياضياً مع هذه النظريات الوترية ، وحتى لو استطعنا معرفة النظرية التي تقابل ما نراه في الطبيعة ، لا نملك الآن معياراً يتيح لنا أن نعرف **لماذا** كانت هذه النظرية بالذات هي التي تنطبق على العالم الواقعي . وأكرر القول مرة أخرى : إن هدف الفيزياء في أعمق مستوياتها ليس أن تصف العالم فحسب ، بل وأن تجد أسباب كونه كما هو .

وفي سبيل البحث عن معيار يتيح لنا أن نختار النظرية الوترية الحقيقية قد نضطر إلى اللجوء لمبدأ غير موثوق في الفيزياء ، معروف باسم **المبدأ البشري** ، يقول بأن قوانين الطبيعة يجب أن تبيح وجود كائنات عاقلة تبحث في قوانين الطبيعة .

إن فكرة المبدأ البشري جاءت مع ملاحظة أن قوانين الطبيعة تبدو ملائمة بشكل مدهش لوجود الحياة . وأشهر مثال على ذلك تشكل العناصر الكيميائية . وبموجب الأفكار الحديثة بدأ هذا التشكل عندما كان عمر العالم ثلاث دقائق (كان قبلئذ أسخن من أن يتيح التحام النترونات والبروتونات معاً) ثم استمر في باطن النجوم . كان المظنون سابقاً أن العناصر قد تشكلت من انضمام جسيمات نووية متوالية إلى النوى الذرية ، بدءاً بأبسط العناصر ، الهدروجين ، الذي تتألف نواته من جسيم واحد (البروتون) . ولكن رغم عدم وجود مشكلة في إنجاز بناء نواة الهليوم ، التي تضم أربع جسيمات نووية (بروتونين ونترونين) ، لا يوجد نواة مستقرة تضم خمسة جسيمات نووية ، ولا وسيلة إذن لحدوث الخطوة التالية . والحل الذي وجده إدوين سالبيتر عام ١٩٥٢ هو أن نواتي هليوم تستطيعان الاندماج معاً في أحشاء النجوم لتشكلا نواة البيريليوم ٨ ؛ ورغم أن هذه النواة غير مستقرة إلا أنها قد يتفق لها ، قبل أن تنشطر من جديد إلى نواتي هليوم ، أن تلتحم مع نواة هليوم أخرى فتشكل نواة كربون . ولكن ، كما أكّد فريد هويل عام ١٩٥٤ ، لكي تفسر هذه العملية وفرة الكربون الملحوظة في الكون لا بد من حدوث حالة لنواة الكربون ذات طاقة تمنح هذه النواة احتمالاً كبيراً جداً كي تتشكل من جراء التصادم بين نواة هليوم ونواة بيريليوم ٨ (لقد حصل المجربون العاملون مع هويل على هذه الحالة بالضبط بعدئذ) . وبمجرد أن يتشكل الكربون تزول كل العوائق على

طريق استمرار بناء كل العناصر الثقيلة الأخرى بما فيها الأكسيجين والآزوت الضروريان لنشوء أشكال الحياة المعروفة. ولكن لكي يتم ذلك يجب أن تكون حالة نواة الكربون ذات طاقة قريبة جداً من مجموع طاقتي نواة البيريليوم ٨ ونواة الهليوم. وإذا كانت طاقة هذه الحالة من نواة الكربون كبيرة أو صغيرة أكثر من اللازم فلا تتشكل سوى كميات قليلة من الكربون والعناصر الأثقل في باطن النجوم؛ إذ لا يمكن أن تنشأ حياة من الهدروجين والهليوم فقط. وتتعلق طاقات الحالات النووية تعلقاً معقداً بكل الثوابت الفيزيائية، كالشحنات الكهربائية وكتل شتى أنواع الجسيمات العنصرية، وللوهلة الأولى يبدو من المدهش أن تتخذ هذه الثوابت القيم اللازمة بالضبط لإمكانية تشكل الكربون بهذا الأسلوب.

إن البرهان على أن قوانين الطبيعة قد وُلِّفت توليفاً دقيقاً وبما يتيح نشوء الحياة لا يبدو لي مقنعاً جداً. فقد برهن مؤخراً فريق من الفيزيائيين على أن طاقة حالة الكربون المذكورة يمكن أن تكون أكبر من ذلك دون أن تُنقص كثيراً من كمية الكربون التي تتشكل في النجوم. هذا أولاً؛ وثانياً لأننا إذا غيرنا قيم ثوابت الطبيعة قد نعثر على حالات أخرى لنواة الكربون وسواها ربما تبيح أسلوباً آخر في تشكل عناصر أثقل من الهليوم. ونحن لا نملك طريقة جيدة لتقدير قلة احتمال أن تتخذ ثوابت الطبيعة القيم الملائمة لنشوء حياة ذكية.

ولكن سواء كان المبدأ البشري، أم لم يكن، ضرورياً لتفسير أي شيء، مثل طاقات الحالات النووية، فإننا نستطيع أن نتصور ظرفاً يتيح قبول هذا المبدأ على صعيد الحس العام فقط؛ فقد تكون العوالم المتخالفة المقبولة منطقياً موجودة كلها بمعنى ما، ولكل منها قوانينه الخاصة به. وإذا صح ذلك فإنه يعني حتماً وجود عدة عوالم، منها ما هي ذات قوانين أو تاريخ يجعلها غير قابلة لإيواء حياة ذكية. ولكن يجب عندئذ على أي علمي يتساءل عن سبب كون العالم كما هو كائن أن يقبل أنه يعيش حتماً في عالم من العوالم الأخرى **الصالحة** لنشوء حياة ذكية(*).

إن نقطة الضعف في فهم المبدأ البشري بهذا الشكل هي أن معنى تعدد العوالم ليس واضحاً. وهناك إمكانية واحدة بسيطة جداً عرضها هويل وهي أن تكون ثوابت الطبيعة متفاوتة من منطقة لأخرى، مما يجعل كل منطقة من العالم نوعاً من عالم فرعي؛ ويمكن قبول

---

* أخبرني فيزيائي سوفييتي مهاجر أن نكتة انتشرت في موسكو قبل بضع سنوات مفادها أن المبدأ البشري يفسر لماذا كانت الحياة بائسة لهذه الدرجة. هذا لأن طرائق حدوث البؤس فيها أكثر من طرائق حدوث السعادة؛ ولا يتطلب المبدأ البشري سوى أن تتيح قوانين الفيزياء وجود كائنات ذكية، لا أن تتمتع هذه الكائنات أنفسها.

هذا النوع من فهم العوالم المتعددة إذا كانت هذه التي نسميها ثوابت الطبيعة تختلف من عصر لآخر من تاريخ العالم. وقد نوقشت كثيراً إمكانية أكثر ثورية مفادها أن عالمنا والعوالم الأخرى الممكنة منطقياً مع قوانين نهائية أخرى مقتطعة كلها بطريقة ما من عالم أضخم بكثير. وفي محاولات حديثة لتطبيق ميكانيك الكم على الثقالة، مثلاً، لوحظ أن الفضاء الخالي، بالرغم من مظهره الهادئ والخامل كسطح البحر المحيط مرئياً من ارتفاع شاهق، يعجُّ بالاضطرابات الكمومية عندما يُنظر إليه عن كثب قريب جداً، وهذا لدرجة أن تتشكل فيه «أنفاق دودية» تصل فيما بين أجزاء العالم الضخم النائية بعضاً عن بعض في المكان والزمان. وفي عام ١٩٨٧ (بعد أعمال هوكنغ وهارتل وسواهما) برهن سيدني كولمان على أن مفعول النفق الدودي، مغلقاً أم مفتوحاً، ليس سوى تغير يظهر في المعادلات التي تحكم شتى الحقول. وكما في التفسير المتعدد العوالم لميكانيك الكم، يتمزق التابع الموجي الذي يصف العالم إلى عدد كبير من الحدود في كل منها «ثوابت» طبيعية تتخذ قيماً مختلفة عما يوجد في عالمنا، وباحتمالات أخرى أيضاً. وفي كل النظريات التي من هذا النوع، لا يقبل الإحساس الشائع سوى أن نجد أنفسنا في منطقة من الفضاء أو في حقبة من تاريخ الكون أو في حد من تابع الموجة اتفق أن تأخذ فيه «ثوابت» الطبيعة قيماً صالحة لوجود حياة ذكية.

لا شك أن الفيزيائيين سوف يستمرون في محاولة تفسير ثوابت الطبيعة دون اللجوء إلى المبدأ البشري. وبأحسن الظن أرى أننا سنجد عما قريب أن كل ثوابت الطبيعة (ربما باستثناء واحد منها) تتعين في الحقيقة بمبادئ تناظر من نوع أو آخر، وأننا سوف نتبين أن وجود شكل من أشكال الحياة لا يتطلب أي توليف لقوانين الطبيعة مدهش جداً. أما الثابتة التي قد تحتاج إلى تفسير بمبدأ بشري فهي تلك المعروفة باسم **الثابتة الكونية**.

والثابتة الكونية ظهرت أصلاً في أول محاولة نظرية قام بها أينشتاين لتطبيق نظرية النسبية العامة على الكون بمجمله. فقد افترض في هذا العمل أن العالم الكوني سكوني، كما كان يُظن آنذاك، ولكنه سرعان ما وجد أن معادلات الحقل الثقالي لديه لا تملك أي حل سكوني لدى تطبيقها على العالم بمجمله. إن هذا الافتراض لا علاقة له البتة بالنسبية العامة؛ ففي نظرية نيوتن الثقالية أيضاً يمكن أن نجد حلولاً فيها مجرات تقترب بعضاً من بعض بفعل تجاذبها الثقالي، وحلولاً أخرى فيها مجرات تهرب بعضاً من بعض بنتيجة انفجار بدئي، لكن من الصعب أن نتوقع من المجرات أن تظل معلقة في الفضاء على الدوام براحة شبه أزلية أبدية. ولكي يحصل على عالم سكوني قرر أينشتاين أن يعدِّل نظريته، فأدخل في معادلاته حداً من شأنه أن يعطي شيئاً يشبه قوة تنافرية في المسافات النائية تستطيع أن توازن قوة التجاذب

الثقالية . وهذا الحد يحوي ثابتة حرة واحدة تُعيِّن حجم العالم في نظرية أينشتاين الكونية السكونية ؛ وهكذا أصبح هذا الحد يُعرف باسم الثابتة الكونية .

كان ذلك عام ١٩١٧ . وبسبب الحرب لم يعلم أينشتاين بأن الفلكي الأمريكي فستو سيلفر ، كان قد اكتشف للتو علائم تدل على أن المجرات (كما نسميها الآن) تهرب بعضاً من بعض ، أي أن العالم ليس في الواقع سكونياً ، بل هو آخذ بالتوسع . ثم تأكد هذا التوسع وقيست سرعته على يدي إدوين هَبْل باستخدام مقراب (تيلسكوب) جديد أقيم على جبل ويلسون قطر فتحته مئة بوصة . وعندئذ ندم أينشتاين على تشويه معادلاته بتلك الثابتة الكونية . لكن إمكانية وجود ثابتة كونية لم تختفِ بهذه السهولة .

وهذا لا لسبب إلا لأننا لا نرى سبباً **لعدم** إدخال ثابتة كونية في معادلات أينشتاين الحقلية . فنظرية أينشتاين كان تعتمد على مبدأ تناظري يقول بأن قوانين الطبيعة يجب أن لا تتعلق بمرجع المقارنة المكاني والزماني الذي ندرس هذه القوانين فيه . لكن نظريته الأصلية لم تكن عمومية أكثر من سواها من النظريات التي يبيحها ذلك المبدأ التناظري . كما يوجد حدود كثيرة العدد نستطيع إضافتها إلى المعادلات الحقلية دون أن يكون لها تأثير يُذكر على المسافات الفلكية ويمكن إذن تجاهلها دون محذور . وفيما سوى هذه الحدود يوجد حد واحد يمكن أن يضاف إلى معادلات أينشتاين الحقلية دون أن ينتهك مبدأ التناظر الأساسي للنسبية العامة وقد يكون مهماً في علم الفلك : إنه الحد الذي فيه الثابتة الكونية . كان أينشتاين يعمل عام ١٩١٥ من خلال حرصه على فرضية أن يُختار أبسط معادلات حقلية ممكنة . لكن خبرتنا التي اكتسبناها بعد الربع الأول من هذا القرن قد علمتنا أن لا نثق بأمثال هذه الافتراضات ؛ فقد وجدنا عموماً أن أي تعقيد في نظرياتنا ، غيرِ ممنوع بتناظر أو بمبدأ أساسي آخر ، يحدث فعلاً . فلا يكفي إذن أن نقول بأن الثابتة الكونية تعقيد لا لزوم له . والبساطة ، ككل شيء آخر ، لا بد من تعليلها .

والمسألة أدهى في ميكانيك الكم . فالحقول المتنوعة التي تسكن عالمنا عرضة لإضرابات كمومية مستمرة تعطي طاقة حتى للفضاء الخالي اسمياً . وهذه الطاقة يمكن أن تُرصد من خلال مفعولاتها الثقالية ؛ والطاقة ، مهما كان نوعها ، تولِّد حقولاً ثقالية ؛ وهي بدورها تتأثر بالحقول الثقالية ؛ وبالطاقة التي تملأ الفضاء يمكن أن يكون لها مفعولات هامة في توسع الكون . ونحن غير قادرين حالياً على حساب كثافة الطاقة الحجمية المتولدة من هذه الاضطرابات الكمومية ؛ فباستخدام أبسط التقريبات نجد أن هذه الكثافة لا نهائية . ولكن بتخمين معقول بخصوص كيفية التخلص من الاضطرابات العالية الوتيرة المسؤولة عن القيمة

اللانهائية يتبين أن الطاقة في وحدة الحجم كبيرة لدرجة بالغة : حوالي $١٠^{١٢٠}$ ضعفاً مما تبيحه سرعة توسع العالم الملحوظة . وهذا حتماً أسوأ فشل في تقدير رتبة كِبرٍ في تاريخ العلم .

إذا كانت طاقة الخلاء هذه موجبة فإنها تولِّد عندئذ تنافراً بين جسيمات مادية نائية جداً بعضاً عن بعض ، وبالضبط كما تفعل الثابتة الكونية التي أضافها أينشتاين إلى معادلاته الحقلية عام ١٩١٧ . وبذلك نستطيع اعتبار الطاقة الناجمة عن الاضطرابات الكمومية وكأنها تقتصر على الإسهام في ثابتة كونية « كلية » ؛ والتوسع الكوني يتأثر فقط بهذه الثابتة الكونية الكلية ، لا بالثابتة الكونية في معادلات النسبية العامة ولا بطاقة الخلاء الكمومية كلاً على حدة . وهذا يفتح الباب على مصراعيه لإمكانية أن تنتفي مسألة الثابتة الكونية بمسألة طاقة الفضاء الخالي . أي ، بتعبير آخر ، قد يوجد في معادلات أينشتاين ثابتة كونية **سالبة** لا تفعل سوى أن تعدم مفعول طاقة الخلاء الهائلة الناجمة عن الاضطرابات الكمومية . ولكن كي يحصل اتفاق مع ما نعرفه عن توسع الكون يجب أن تكون الثابتة الكونية الكلية صغيرة لدرجة أن يتنافى هذان الحدان فيها على مدى ١٢٠ مرتبة عشرية . وهذا ليس من النوع الذي يسعدنا أن نتركه دون تفسير .

لقد حاول الفيزيائيون النظريون سنوات عديدة أن يفهموا هذا التنافي في الثابتة الكونية ، ولم يجدوا تفسيراً مقنعاً حتى الآن . والنظرية الوترية ، إذا صحت ، تجعل المسألة أسوأ ؛ لأن كل واحدة من النظريات الوترية العديدة تعطي قيمة مختلفة للثابتة الكونية الكلية (بما في ذلك مفعولات اضطرابات الخلاء الكمومية) ، ولكنها في الحالة العامة تأتي أكبر من أن تُقبل . وبثابتة كونية كلية من هذا الحجم يجب أن يكون الفضاء ذا انحناء شديد لدرجة أن لا يشبه بتاتاً فضاء الهندسة الإقليدية ذا الأبعاد الثلاثة الذي نعيش فيه .

وإذا أخفق كل شيء آخر قد نعود إلى المبدأ البشري . فقد يوجد على هذا الصعيد بمعنى أو بآخر عدة « عوالم » متخالفة يحوي كل منها ثابتته الكونية الخاصة به . وإذا كان ذلك صحيحاً فإن العالم الوحيد الذي نتوقع أن نجد أنفسنا فيه هو ذلك الذي تكون فيه الثابتة الكونية الكلية صغيرة بما يكفي لنشوء الحياة وتطورها ؛ إذ لو كانت الثابتة الكونية الكلية كبيرة وسالبة لكان من شأن العالم أن يعيش دورة توسع وانكماش أسرع من أن تتيح زمناً كافياً لنشوء الحياة . ومن جهة أخرى لو كانت الثابتة الكونية الكلية كبيرة وموجبة لجعلت توسع العالم أبدياً ، لكن قوة التنافر الناجمة عن الثابتة الكونية من شأنها أن تحول دون ارتصاص المادة بالتجاذب الثقالي لتأخذ شكل مجرات ونجوم في بداية العالم ، مما يحول أيضاً دون نشوء الحياة . وربما كانت النظرية الوترية الصحيحة (إذا كانت وحيدة) هي تلك التي

تقود إلى ثابتة كونية كلية تقع في المجال الضيق نسبياً من القيم التي تتيح ظهور الحياة .

ومن النتائج المحيرة لهذا الأسلوب في التفكير عدم وجود سبب يجبر الثابتة الكونية الكلية (بما فيها مفعولات اضطرابات الخلاء الكمومية) على أن تكون صفراً بالضبط . فالمبدأ البشري لا يطلب منها سوى أن تكون صغيرة بما يكفي لتشكل مجرات تعيش مليارات السنين . والواقع أن بعض الأرصاد الفلكية قد ألمحت في وقت ما إلى أن الثابتة الكونية الكلية ليست معدومة ولكنها صغيرة وموجبة .

أحد هذه الملامح هو مسألة « الكتلة الكونية المفقودة » . إن القيمة الطبيعية حقاً لكثافة العالم الكتلوية (والقيمة التي تتطلبها النظريات الكونية الشائعة) هي الكثافة التي تجعل التجاذب الثقالي عند الحد الأدنى الذي يتيح للعالم أن يتوسع إلى الأبد . لكن هذه الكثافة أكبر بخمس مرات أو عشر مما تسهم به الكتلة الموجودة في مجموعات المجرات (كما تُحسب من دراسات حركات المجرات في كل مجموعة) . وقد تكون الكتلة المفقودة حقاً مادة مظلمة من نوع ما ، ولكن هناك إمكانية أخرى . إذ إن مفعول ثابتة كونية موجبة يشبه بالضبط ، كما ذكرنا منذ قليل ، مفعول كثافة طاقية منتظمة ثابتة تكافئ ، بموجب علاقة أينشتاين الشهيرة بين الطاقة والكتلة ، كثافة ثابتة منتظمة . وبذلك يمكن القول بأن المفقود ، بنسبة ٨٠ ٪ — ٩٠ ٪ ، من كثافة « الكتلة » الكونية ، تنهض بأعبائه ثابتة كونية كلية موجبة بدلاً من أي نوع من أنواع المادة الحقيقية .

لكن هذا لا يعني عدم وجود أي فرق بين كثافة مادية حقيقة وبين ثابتة كونية موجبة . فالعالم يتوسع ؛ ومهما كانت كثافة المادة الحقيقية الآن ، فقد كانت أكبر بكثير في الماضي ؛ في حين أن الثابتة الكونية الكلية ثابتة بمرور الزمن وكذلك الكثافة المادية التي تكافئها ، فكلما كانت هذه الكثافة المادية أكبر كان توسع العالم أسرع ، مما يدل على أن توسع العالم كان يجب أن يكون في الماضي أسرع بكثير مما كان لو أن « الكتلة » المفقودة أقرب إلى المادة العادية من مفعول ثابتة كونية .

ومما يشير بشكل أوضح إلى ثابتة كونية كلية موجبة سمةٌ تأتي من مسألة ما تزال قائمة في قضية نشأة العالم . ففي النظريات الكونية المعتمدة نستطيع استغلال سرعة العالم الملحوظة فنستنتج منها أن عمر العالم الآن يقع بين سبعة مليارات عام واثني عشر مليار . لكن أعمار التجمعات المكورة من النجوم ضمن مجرتنا تُقدَّر عادة بحوالي اثني عشر مليار عام إلى خمسة عشر مليار . فنحن إذن نواجه مشكلة عالم أكثر شباباً من التجمعات المكورة التي يحويها. وللتخلص من هذا التناقض علينا أن نتبنى أخفض تقدير لعمر التجمعات المكورة وأعلى تقدير لعمر العالم . ومن جهة أخرى رأينا أن إدخال ثابتة كونية موجبة بدلاً من المادة المظلمة

يدعو إلى إنقاص تقديرنا لسرعة توسع العالم في الماضي ومن ثم إلى زيادة عمره المستنتج من سرعة توسعه الحالية. فإذا كانت الثابتة الكونية تسهم، مثلاً، بـ ٩٠٪ من كثافة «الكتلة» الكونية فإن عمر العالم، حتى من أجل أعلى تقدير لسرعة توسعه، يصبح أحد عشر مليار عام بدلاً من سبعة مليارات، وبذلك يزول كل اختلاف بين عمر العالم وأعمار التجمعات النجمية المكورة في مجرتنا.

إن الثابتة الكونية الموجبة التي تحل محل ٨٠٪ — ٩٠٪ من كثافة «الكتلة» الكونية تقع حقاً ضمن الحدود التي تتيح وجود الحياة. ونحن نعلم أن الكوازارات، والمجرات الأخرى أيضاً بأغلب الظن، كانت قد تشكلت بعد الانفجار الأعظم بوقت قصير لدرجة أن حجم العالم كان آنئذ سدس حجمه الحالي، لأننا نرى ضوءاً آتياً من الكوازارات ازداد طول موجته (الانزياح نحو الأحمر) ستة أضعاف. كانت كثافة العالم الكتلوية الحقيقية في ذلك الوقت تساوي قرابة مئتي ضعف ($٦^٣$) من قيمتها اليوم. مما يعني أن الثابتة الكونية، التي تكافئ كثافة كتلوية تساوي خمسة أضعاف إلى عشرة من الكثافة **الحالية**، لا يمكن أن تكون ذات مفعول كبير في تشكل المجرات **وقتئذ**، رغم أن من شأنها أن تحول دون تشكل مجرات أحدث. هذا وإن الثابتة الكونية، التي يكافئ مفعولُها مفعولَ كثافة كتلوية تساوي خمسة أضعاف إلى عشرة أضعاف من قيمتها اليوم، هي التي نتوقعها تقريباً من المبدأ البشري.

إن هذه المسألة (بخلاف سواها التي نوقشت في هذا الفصل) يمكن لحسن الحظ أن تُحسم قريباً بالرصد الفلكي. فقد كان يجب على سرعة توسع العالم، كما رأينا، أن تكون في الماضي أكبر بكثير لو أن المادة المفقودة مصنوعة من مادتنا العادية بدلاً من أن تكون مفعول ثابتة كونية. وهذا الفرق يؤثر في هندسة العالم، وفي مسارات الأشعة الضوئية، بطريقة كان بإمكان الفلكيين أن يكتشفوها. (كان من شأن هذا التأثير، مثلاً، أن يغيِّر أعداد المجرات التي تُرى هاربة منا بسرعات متفاوتة، وأن يغير أيضاً أعداد العدسات الثقالية المجرِّية — المجرات التي يعطف حقلها الثقالي الضوء الآتي من أجرام تقع على مسافات كبيرة خلفها على خط نظرنا، مما يعطي لكل جرم من هذه الأجرام عدة صور(*)). ولئن كانت الأرصاد لم تؤكد ذلك حتى الآن إلا أن العمل جار على قدم وساق في عدة مراصد، ومن شأنه أن يؤكد أو أن ينفي القول بأن الثابتة الكونية تقوم مقام ٨٠٪ — ٩٠٪ من كثافة العالم

★ على شاكلة الخيالات التي تشكلها العدسات الزجاجية للأجسام المضيئة الواقعة خلفها، ومن هذا التشابه جاء اسم العدسات الثقالية. وهذا المفعول الضوئي الثقالي، لا يختلف عن الانعطاف الذي يسببه حقل الشمس الثقالي للأشعة الضوئية الآتية إلينا من نجوم تقع خلف الشمس، والذي تكلم عنه المؤلف سابقاً بمناسبة الحديث عن البراهين التجريبية على صحة نظرية النسبية العامة. المترجم

« الكتلوية » الحالية . ومثل هذه الثابتة الكونية أصغر بكثير مما نتوقعه من تقديرات الاضطرابات الكمومية ولدرجة أن يصعب علينا قبولها إذا استبعدنا المبدأ البشري . وعلى هذا الأساس ، وإذا تأكدت مثل هذه الثابتة الكونية بالرصد ، يصبح من المعقول أن نستنتج أن وجودنا كبشر يؤدي دوراً مهماً في تفسير كون العالم كما هو بالفعل .

أما الأفضل من هذا ، كما آمل ، فهو أن لا يكون الأمر كذلك . فأنا ، كفيزيائي نظري ، أُحب أن أرى أننا قادرون على صنع نبوءات دقيقة ، لا مقولات غامضة بأن بعض الثوابت يجب أن تقع ضمن مجال صالح كثيراً أو قليلاً لنشوء الحياة وتطورها . ويراودني الأمل بأن تُقدم النظرية الوترية أساساً صالحاً لنظرية نهائية وأن يتبين أن هذه النظرية ذات مقدرة تنبؤية تكفي لاستخلاص قيم كل ثوابت الطبيعة ، بما فيها الثابتة الكونية . وسوف نرى .

الفصل العاشر

موقف الفكر حيال القوانين النهائية

ها هو القطب أخيراً! ثمرة قرون ثلاثة...
أكاد لا أصدق. كل شيء يبدو بسيطاً وعادياً.
Robert Peary, dиry, quoted bghim in The North Pole (★)

من الصعب أن نتصور أننا نستطيع أن نمتلك ذات يوم مبادئ فيزيائية نهائية ليس لها أي تعليل يستند إلى مبادئ أعمق. فالعديد من المفكرين يعتقدون أن من المسلَّم به أن نجد بدلاً من ذلك سلسلة لا نهاية لها من المبادئ الأعمق فالأعمق. فعميد فلاسفة العلم العصريين مثلاً، كارل بوبر، يرفض «فكرة تفسير نهائي»، ويتمسك بأن «كل تفسير يمكن أن يتفسر بعدئذ بنظرية أو حدس ذي شمولية أوسع. لا يمكن أن يوجد تفسير لا يحتاج إلى تفسير أعمق...».

قد يتبين أن بوبر وسواه ممن يرون هذا الرأي كانوا على حق. لكنني لا أعتقد أن بالإمكان استمداد هذا الرأي من واقع أن أحداً لم يجد حتى الآن نظرية نهائية. فهذا الرأي يشبه مقولة أحد المستكشفين في القرن التاسع عشر بأن القطب الشمالي غير موجود أو أنه على كل حال لا يمكن لأحد بلوغه، وهذا بحجة أن كل البعثات القطبية لاستكشافه على مدى مئات السنين قد وجدت على الدوام ومهما أوغلت نحو الشمال أن أمامها باستمرار مزيداً من البحر والجليد في الشمال لم يكتشفه أحد قط. لكن بعض الاستكشافات قد بلغت الغاية فعلاً.

يبدو أن هناك انطباعاً واسع الانتشار بأن رجال العلم غالباً ما خدعوا أنفسهم في الماضي بأنهم قد وجدوا نظرية نهائية. ويتصورونهم على شاكلة المستكشف فريدريك كوك حين ظن عام ١٩٠٨ بأنه قد وصل إلى القطب الشمالي. فمن قبيل الأوهام أن يتصور الناس أن رجال العلم مولعون ببناء مخططات مدروسة يدَّعون أنها النظرية النهائية ويدافعون عنها بعناد إلى أن تأتي بيِّنات تجريبية متينة تكشف للأجيال اللاحقة من العلميين أن هذه

★ ملاح ومستكشف أمريكي، أول من وصل إلى القطب الشمالي، يوم ٦ نيسان ١٩٠٩. المترجم

المخططات خاطئة كلها. فأنا لا أعرف حتى الآن فيزيائياً مشهوراً واحداً ادَّعى في هذا القرن أن نظرية نهائية قد تم العثور عليها. وقد يحدث أحياناً لبعض الفيزيائيين أن يتفاءلوا أكثر من اللازم بخصوص المسافة التي يجب قطعها قبل بلوغ نظرية نهائية. تذكَّر نبوءة مايكلسون حين قال عام ١٩٠٢: «ليس، على ما يبدو، بعيداً جداً ذلك اليوم الذي تتلاقى فيه خطوط آتية من مناطق بعيدة لتجتمع على... صعيد مشترك». كما أن ستيفن هوكنغ قد أوحى مؤخراً، في خطابه الذي ألقاه بمناسبة تسنمه كرسي أستاذية الرياضيات في جامعة كمبردج (الكرسي الذي شغله نيوتن وديراك قبله)، بأن نظريات «الثقالة الفائقة الشاملة»، التي استُحدثت آنئذ، ستقدم أساساً لشيء يشبه نظرية نهائية. وأنا أشك في أن يوحي هوكنغ بهذه الفكرة اليوم. ولكنه لم يصرح قط، لا هو ولا مايكلسون، بأن نظرية نهائية قد أُنجزت.

إذا كان للتاريخ دلالة، فهو ما يبدو لي موحياً **بوجود** نظرية نهائية. فقد رأينا في هذا القرن نوعاً من تقارب أسهم التفسير نحو نقطة تلاقٍ، كما تتقارب خطوط الطول نحو نقطة القطب الشمالي. فأعمق مبادئنا، برغم أنها ليست نهائية بعدُ، قد أصبحت حتماً أكثر بساطة واقتصادية. وقد رأينا هذا التقارب هنا في تفسير خصائص قطعة الطبشور، كما لاحظته بنفسي من خلال حياتي المهنية في الفيزياء. فعندما كنت طالب دراسات عليا كان عليَّ أن أتعلم مقداراً كبيراً من المعلومات المشتتة عن التفاعلات الضعيفة والشديدة بين الجسيمات العنصرية. واليوم يتعلم الطلاب أمثالي النموذج المعياري وكمية كبيرة من الرياضيات وأشياء قليلة أخرى. (إن أساتذة الفيزياء يقفون اليوم مشبوكي اليدين أمام قلة ما يعرفه الطلاب عن الظواهر الحالية في فيزياء الجسيمات العنصرية، لكنني أظن أن أساتذتي في كورنيل وبرنستون كانوا يشبكون أيديهم أمام قلة ما كنت أعرفه من ظواهر الأطياف الذرية). إن من الصعب جداً أن تقتنع بتراجع عدد النظريات الأساسية أكثر فأكثر، لتصبح باستمرار أبسط وأكثر توحُّداً، دون أن ترى تقارب أسهم التفسير نحو نقطة ما.

إن من الممكن، وإن كان بعيد الاحتمال، أن لا تنتهي أبداً سلسلة النظريات الأعمق فالأعمق وأن لا تبلغ الغاية، لكن الفيلسوف ميكائيل ريدهيد يرى أنها قد تنغلق على نفسها، وهو يلاحظ أن تفسير كوبنهاغن الأصولي لميكانيك الكم يتطلب وجود عالم كبير قوامه الرصاد وأجهزة القياس، وهذا العالم يتفسر بدوره بميكانيك الكم. ويبدو لي أن هذا الرأي مثال آخر على ما هو خطأ في تفسير كوبنهاغن لميكانيك الكم وللفرق بين طريقة معالجة الظواهر الكمومية ومن يدرسونها. وفي تناول ميكانيك الكم بالأسلوب الواقعي، كما فعل هيو إيفيريت وسواه، لا يوجد سوى تابع موجة واحد يصف كل الظواهر، ومن ضمنها التجارب والرصاد؛ والقوانين الأساسية هي تلك التي تصف تطور هذا التابع الموجي.

ويوجد رأي آخر أكثر تطرفاً يقول بأننا سوف نكتشف عدم وجود أي قانون. فصديقي وأستاذي جون ويلر اقترح في وقت ما فكرة عدم وجود أي قانون أساسي وأن كل القوانين التي ندرسها مفروضة على الطبيعة بالطريقة التي نجري بها أرصادنا. وفي خط آخر مختلف قليلاً اقترح النظري الكوبنهاغني هولغر نيلسين «دينامية عشوائية» تبدو فيها الظواهر التي نستطيع تناولها في مختبراتنا، ومهما كانت فرضياتنا بخصوص طبيعة الأحداث ضمن مسافات قصيرة جداً أو في طاقات عالية جداً، وكأنها متطابقة تقريباً.

يبدو لي أن ويلر ونيلسين كليهما لا يفعلان أكثر من إهمال مسألة القوانين النهائية. لكن عالم ويلر، الخالي من القوانين يظل بحاجة إلى قوانين فوقية تخبرنا كيف تفرض أرصادنا النظام الذي نراه في الطبيعة. وعلى غرار ذلك يحتاج نيلسين إلى نوع من القوانين الفوقية تشرح لنا كيف يتغير مظهر الطبيعة عندما نغيِّر سلَّم المسافات والطاقات التي نجري فيها قياساتنا؛ وفي سبيل ذلك عليه أن يفترض صحة ما نسميه مجموعة معادلات إعادة الاستنظام التي تطرح مشكلة عويصة في عالم خالٍ من القوانين. وأنا أتوقع أن تؤدي كل محاولات العمل بدون قوانين طبيعية أساسية، إذا تقدر لها النجاح، إلى مجرد إدخال قوانين فوقية تشرح كيف تأتي الأشياء التي نسميها **الآن** قوانين فيزيائية.

وهناك إمكانية أخرى تبدو لي محتملة أكثر ومقلقة أكثر بكثير. قد يوجد نظرية نهائية، مجموعة بسيطة من المبادئ تنطلق منها كل أسهم التفسير، ولكننا لن نكتشف أبداً ماهيتها. قد يكون، مثلاً، أن البشر ليسوا على درجة من الذكاء تكفي لاكتشاف النظرية النهائية أو فهمها. فأنت قد تستطيع أن تدرب الكلاب على فعل كل أنواع الأشياء التي تتطلب مهارة، ولكنني أشك في أن يستطيع أي إنسان تدريب كلب على استخدام ميكانيك الكم لحساب مستويات طاقة ذرية. وأفضل سبب يدعونا إلى الأمل بأن تستمر مواهبنا الفكرية في إحراز تقدم متواصل هو قدرتنا المدهشة على أن نربط بين أفكارنا بروابط اللغة؛ لكن هذا قد لا يكون كافياً. وقد نبَّه فغنر إلى «أننا ليس لنا الحق في أن نتوقع من موهبتنا الفكرية أن تستطيع صياغة مفاهيم مثالية لاستيعاب كل ظواهر الطبيعة غير الحية». ولكننا لحسن الحظ لا نبدو على وشك أن نستنفد كل مواهبنا الفكرية. وفي الفيزياء على كل حال يبدو أن كل جيل جديد من المتخرجين الجامعيين ألمع من الجيل الذي سبقه.

لكن المزعج أكثر من ذلك كله بكثير هو إمكانية أن تتوقف جهود البحث عن القوانين النهائية بسبب افتقاد المال. ولدينا كمثال على ذلك الجدل الذي حصل مؤخراً في الولايات المتحدة حول إكمال صنع المصادم الفائق أو إيقافه. فمليارات الدولارات الثمانية الموزعة

على عشر سنوات لتمويل المشروع هي حتماً ضمن إمكانيات بلدنا، ولكن حتى فيزيائيي الطاقة العالية قد يترددون في اقتراح مسرع مستقبلي أكثر كلفة.

وإضافة إلى الأسئلة المطروحة بشأن النموذج المعياري التي نتوقع أن يجيب عنها المصادم الفائق، يوجد مسائل أعمق بخصوص توحيد التفاعلات (القوى) الكهرضعيفة والشديدة والثقالية؛ وهي مسائل لا يمكن معالجتها مباشرة بأي مسرع يمكن تصوره الآن. فطاقة بلانك الأساسية حقاً والتي يمكن أن نتحرى هذه المسائل عندها بالتجربة تساوي عشرة ملايين مليار ضعف من الطاقة التي ستكون متوفرة في المصادم الفائق. فعند طاقة بلانك نتوقع من قوى الطبيعة كلها أن تتوحد معاً. وهي أيضاً رتبة الطاقة اللازمة بموجب النظريات الوترية الحديثة لاستثارة أوائل أساليب اهتزاز الأوتار، الأساليب التي تلي أخفض الأساليب التي تتجلى لنا بشكل كواركات عادية وفوتونات وجسيمات النموذج المعياري الأخرى. ومن سوء الحظ أن هذه الطاقات تبدو بشكل مقنط خارج إمكانياتنا في بلوغها. ونحن، حتى لو توفرت كل مصادر الجنس البشري الاقتصادية لهذه المهمة، لا نعرف اليوم كيف نبني آلة تُسرِّع الجسيمات إلى هذه الطاقات. وهذا لا لأن الطاقة بحد ذاتها غير متوفرة — إن طاقة بلانك تساوي تقريباً الطاقة الكيميائية الكامنة في بنزين خزان سيارة عادية. لكن المسألة الصعبة هي كيف نُركِّز كل هذه الطاقة على بروتون فرد أو إلكترون. فقد نتعلم كيف نبني هذه المسرعات بطرائق عديدة مستمدة من الطرائق المستخدمة حالياً، ربما باستخدام غازات مؤيَّنه تساعد في نقل الطاقة من حزم ليزرية شديدة إلى جسيمات إفرادية مشحونة؛ ولكن حتى لو استطعنا ذلك فإن نسبة الجسيمات المتفاعلة عند هذه الطاقة ستكون صغيرة لدرجة قد يستحيل معها تنفيذ التجارب. ومن المحتمل أكثر أن تحدث في المستقبل اختراقات في المجال النظري، أو في أنواع أخرى من التجارب، تغنينا عن بناء مسرعات ذات مزيد ومزيد من الطاقة العالية.

تخميني الشخصي: يوجد نظرية نهائية ونحن قادرون على اكتشافها. وقد تعطينا التجارب التي سوف تستخدم المصادم الفائق نتائج جديدة يستطيع النظريون أن يستكملوا بها المعلومات عن النظرية النهائية دون حاجة لدراسة الجسيمات عند طاقة بلانك. حتى أننا قد نستطيع أن نجد من بين النظريات الوترية نظرية مرشحة لمنصب نظرية نهائية.

كم سيكون غريباً لو اكتشفنا النظرية النهائية ونحن على قيد الحياة! سيكون هذا الاكتشاف قفزة في تاريخ الفكر البشري، قفزة لم يشهد لها أحد مثيلاً منذ بدء العلم الحديث في القرن السابع عشر. فهل نستطيع الآن أن نتصور كيف سيكون شكلها؟

لئن كان من غير الصعب أن نتصور نظرية نهائية غير **ذات** تفسير بمبادئ أعمق، إلا أن من الصعب أن نتصور نظرية نهائية **لاتحتاج** إلى مثل هذا التفسير. إن أي شكل قد تتخذه هذه النظرية لن يكون بالتأكيد محتوماً على صعيد **المنطق**. فحتى لو تبين أنها نظرية وترية يمكن التعبير عنها ببضع معادلات بسيطة، وحتى لو استطعنا أن نبرهن على أنها النظرية الكمومية الوحيدة الممكنة القادرة على توصيف الثقالة ومعها القوى الأخرى بدون تناقض رياضي داخلي، سيظل علينا أن نتساءل لماذا يجب أن يوجد شيء كالثقالة ولماذا يجب على الطبيعة أن تذعن لقواعد ميكانيك الكم. لماذا لا يتألف العالم من جسيمات فقط تدور بلا توقف في فلك قواعد الميكانيك النيوتني؟ لماذا لا يوجد أي شيء بتاتاً؟ من الأرجح أن ريدهيد يمثل رأي الأكثرية في إنكار أن «يكون هدف أحد الأسس المبررة ذاتياً وسلفاً هدفاً معقولاً للعلم».

ومن جهة أخرى لاحظ ويلر ذات مرة أننا، عندما نصل إلى القوانين النهائية للطبيعة، سوف نتساءل لماذا لم تكن واضحة منذ البداية. أتوقع أن ويلر قد يكون على صواب، ولكن فقط لأننا سنكون في ذلك الوقت متدربين سلفاً، بعد قرون من الفشل والنجاح، على أن نجد هذه القوانين واضحة. وحتى لو حدث ذلك، وبأي شكل ضعيف كان، أعتقد أن السؤال التقليدي، لماذا؟ سوف يظل مطروحاً علينا. لقد فحص فيلسوف هارفارد، روبرت نوزيك، هذه المسألة وهو يرى أننا، بدلاً من محاولة استنتاج النظرية النهائية بالاستناد إلى أسس منطقية بحتة، يجب أن نبحث عن بيِّنات تجعلها أكثر قبولاً، بدلاً من أن تظل مجرد حقيقة واقعية فجَّة.

أما أنا فأرى أن خير ما نأمله على هذا الصعيد هو أن نبرهن على أن النظرية النهائية **مستقلة** بمنطقها، إن لم تكن محتومة منطقياً. وأعني بذلك أننا قد يتبين لنا أن النظرية النهائية التي اكتشفناها متينة لدرجة أننا لا نجد طريقة لتعديلها تعديلاً طفيفاً لا يجعل النظرية تقود إلى استحالات منطقية، هذا رغم أننا سنظل قادرين على تصور نظريات أخرى مختلفة تماماً عن النظرية النهائية الحقيقية (على شاكلة عالم الجسيمات المفجر المحكوم بميكانيك نيوتن). ففي **النظرية المستقلة بمنطقها يمكن حساب كل ثوابت الطبيعة من مبادئ أُولى؛ ومن شأن أي** تغير طفيف يطرأ على قيمة واحدة من هذه الثوابت أن يدمِّر تماسك النظرية. فالنظرية النهائية على غرار تحفة من الخزف الصيني الرقيق لا يمكن حنيُها دون تحطيمها. وفي هذه الحالة، وبرغم أننا قد نظل نجهل سبب كون النظرية النهائية حقيقية، سنعرف بالاستناد إلى أسس رياضية ومنطقية بحتة لماذا لا تختلف عنها الحقيقة اختلافاً طفيفاً.

إن هذا ليس إمكانية فحسب ـــ نحن منذ الآن على طريق نظرية كهذه متسقلة بمنطقها. والمبادئ الفيزيائية المعروفة بأنها الأكثر أساسية هي قواعد ميكانيك الكم التي

يستند إليها كل شيء نعرفه عن المادة والتفاعلات . وميكانيك الكم ليس محتوماً منطقياً ؛ إذ لا يوجد أي شيء في سلفه ، ميكانيك نيوتن ، يبدو مستحيلاً منطقياً . ومع ذلك فشلت أفضل جهود الفيزيائيين في اكتشاف طريقةٍ تغير قواعد ميكانيك الكم **بمقدار صغير** دون أن تُلحق به كارثة ، كظهور احتمالات سالبة .

لكن ميكانيك الكم ليس بحد ذاته نظرية فيزيائية مكتملة . فهو لا يخبرنا أي شيء عن الجسيمات والقوى التي يمكن أن توجد . خُذ أي كتاب في ميكانيك الكم ستجد كأمثلة توضيحية تشكيلة عجيبة من الجسيمات والقوى الافتراضية معظمها لا يشبه أي شيء معروف في العالم الواقعي ، ولكنها كلها تنسجم تماماً مع مبادىء ميكانيك الكم ويمكن أن تُستخدم لتدريب الطلاب عملياً على تطبيق هذه المبادىء . وتصبح تشكيلة النظريات الممكنة أقل عدداً بكثير عندما نقتصر على النظريات الميكانيكية الكمومية التي تنسجم مع نظرية النسبية الخاصة . ومعظم هذه النظريات يمكن استبعادها بالمنطق لأنها تقود إلى نتائجَ لا معنى لها ، كالطاقات اللانهائية أو القيم اللانهائية لمعدلات التفاعل . ومع ذلك تظل قائمةً نظريات كثيرة ممكنة منطقياً ، كنظرية القوى النووية الشديدة المعروفة باسم الكرومودیناميك الكَمومي ، ولا شيء معها في العالم سوى الكواركات والغليونات . لكن معظم هذه النظريات تُستبعد إذا أصررنا على أن تحتوي الثقالة . وقد نكون في المستقبل قادرين على البرهان رياضياً على أن هذه المتطلبات لا تترك سوى نظرية ميكانيكية كمومية واحدة ممكنة منطقياً ، قد تكون نظرية وترية وحيدة . وإذا حدث ذلك ، وبرغم إمكانية وجود نظريات نهائية كثيرة أخرى ، على صعيد المنطق ، لن يوجد سوى نظرية واحدة تصف كل شيء ولو كان شيئاً كعالمنا الواسع .

ولكن لماذا يجب على النظرية النهائية أن تصف كل شيء يشبه عالمنا ؟ قد نعثر على الجواب فيما أسماه نوزيك **مبدأ الخصوبة** ؛ ومفاده أن العوالم المختلفة الممكنة منطقياً موجودة كلها بمعنى ما ، وكل واحد بمجموعة قوانينه الأساسية الخاصة به . ومبدأ الخصوبة هذا بحد ذاته لا يتفسر بأي شيء ، ولكنه على الأقل ذو تماسك ذاتي مُرضٍ ؛ وهو ، كما يقول نوزيك ، يؤكد « أن كل الإمكانيات تتحقق ، وهو بالذات إحدى تلك الإمكانيات » .

إذ كان مبدأ الخصوبة صحيحاً يكون عالمنا الميكانيكي الكمومي موجوداً ، ولكن أيضاً العالم النيوتني ذو الجسيمات الدائرة بلا توقف والعوالم التي لا تحوي أي شيء بتاتاً ، وكذلك عوالم لا تُحصى ولا نستطيع حتى أن نتصورها . وليس ذلك فقط قضية ثوابت طبيعية تتفاوت من جزء من العالم إلى جزء آخر أو من عصر لآخر أو من حد لآخر في تابع الموجة ؛

فقد رأينا أن هذه كلها إمكانيات يمكن أن تتحقق كنتائج لنظرية أساسية حقاً ، كعلم كون كمومي ؛ ولكن ذلك ما يزال يتركنا أمام مسألة فهم لماذا كانت تلك النظرية الأساسية كما هي . إن مبدأ الخصوبة يفترض كبديل وجود عوالم متخالفة كلياً تسود في كل منها قوانين خاصة به . ولكن إذا كانت هذه العوالم الأخرى عصية على تناولنا وعلى معرفتنا ، عندئذ تكون مقولة وجودها غير ذات نتائج ، باستثناء أنها تتحاشى السؤال عن سبب عدم وجود تلك العوالم . يبدو أن المشكلة هي أننا نحاول أن نكون منطقيين حيال مسألة لا يمكن حلها ببيِّنة منطقية : مسألة ما هو الشيء الذي يجب ، أو لا يجب ، أن يثير إحساسنا بالغرابة .

إن من شأن مبدأ الخصوبة أن يقدم أيضاً مبرراً آخر لاستخدام المبدأ البشري كمساعد لشرح سبب كون قوانين **عالمنا** كما هي . فقد يمكن ، في تصورنا ، أن توجد عوالم متنوعة لا تبيح قوانينها أو تاريخها نشوء حياة ذكية وتطورها ؛ ولكن العلمي ، الذي يتساءل عن سبب كون العالم كما هو فعلاً ، يجب حتماً أن يكون حياً يعيش في أحد العوالم التي **تستطيع** الحياة الذكية أن تنشأ فيها . وبهذه الطريقة نستطيع أن نستبعد فوراً العالم المحكوم بفيزياء نيوتن (لا لشيء إلا لأن الذرات لا يمكن أن تكون مستقرة فيه) والعالم الذي لا يحوي شيئاً البتة .

وكإمكانية متطرفة قد لا يوجد سوى نظرية واحدة مستقلة منطقياً **وبدون** ثوابت غير معينة ، وملائمةٍ لوجود كائنات ذكية تتساءل عن النظرية النهائية . وإذا أمكن البرهان على ذلك نكون قريبين منها بمقدار الأمل بتفسير مرض لسبب كون العالم كما هو فعلاً .

ماذا ستكون نتيجة اكتشاف نظرية نهائية ؟ للحصول على الجواب النهائي يجب طبعاً أن ننتظر اكتشافها . فقد نكتشف حينئذ أشياء عن حكم العالم تدهشنا كما كان يمكن للميكانيك النيوتني أن يدهش تاليس . ولكن هناك شيئاً واحداً يمكن أن نؤكده ، وهو أن اكتشاف نظرية نهائية لن يُنهي مهمة العلم . فحتى لو غضضنا النظر عن المسائل التي يجب دراستها لأغراض التقانة أو الطب ، سيبقى أمامنا عدد كبير من مسائل العلم البحت التي يجب متابعتها لأن العلميين يتوقعون أن يجدوا لها حلولاً جميلة .

حتى أننا في الفيزياء وحدها ، لدينا الآن ظواهر ، كجيشان الموائع والناقلية الفائقة في درجات حرارة عالية ، نتوقع أن نجد لها تفسيرات عميقة وجميلة . كما أننا لا نعرف حتى الآن كيف تشكلت المجرات وكيف تحصل الآلية الوراثية وكيف تُخزِن المعلومات في الدماغ . هذا رغم أن من غير المحتمل أن تتأثر هذه المسائل باكتشاف نظرية نهائية .

ومن جهة أخرى قد يكون لاكتشاف نظرية نهائية أصداء خارج حدود العلم . فعقول العديد من الناس اليوم مثقلة بمعتقدات متنوعة سخيفة تذهب من الخرافات غير

المؤذية نسبياً كالتنجيم إلى عقائد شريرة من أسوأ ما يكون . وبما أن قوانين الطبيعة الأساسية ما تزال غامضة يظل من السهل على هؤلاء السخفاء أن يأملوا بأن تجد سخافاتهم ذات يوم مكاناً محترماً في النسيج العلمي . ولئن كان من الخطل أن نتوقع من أي اكتشاف علمي أن يستطيع بحد ذاته تطهير الجنس البشري من كل معتقداته السخيفة ، إلا أن اكتشاف قوانين الطبيعة الأساسية سوف يضيِّق الخناق على هذه السخافات .

هذا ومع اكتشاف نظرية نهائية قد نشعر ببعض الأسف على أن الطبيعة أصبحت عادية أكثر من ذي قبل ، وأقل عجائب وأسراراً . وقد حدث في الماضي شيء من هذا القبيل ، ففي معظم عصور التاريخ كانت خرائط الأرض الجغرافية تحوي مساحات واسعة كان البشر يتخيلونها ملأى بالتنانين ومدن الذهب وأكلة لحوم البشر . كان البحث عن المعرفة قضية استكشافات جغرافية ، كما حدث حين عزم أوليس على « طلب المعرفة وكأنها نجم يستحم في المحيط ، شيء وراء أبعد حدود الفكر البشري » ، فأبحر يقصد المجهول في تخوم الأطلسي ، « وراء مغيب الشمس ، حيث تستحم كل النجوم الغربية » . ولكننا نملك اليوم خرائط لكل فرسخ من سطح الأرض ، وذهبت التنانين إلى غير رجعة . ونحن سوف تتقلص أحلامنا مرة أخرى حين نكتشف القوانين النهائية . صحيح أنه سيظل أمامنا مسائل لا حصر لها وعالم كوني **ما يزال قيد الاستكشاف ، ولكنني أتوقع من أجيال العلميين في المستقبل أن يحسدوا فيزيائيي** هذا العصر ، لأننا ما نزال على السفينة التي تمخر بنا عباب الطبيعة لاستكشاف القوانين النهائية .

الفصل الحادي عشر

وماذا عن الله؟

قال بورت: «أنت تعرفين أن السماء غريبة جداً هنا، بصوت كأنه آتٍ من وراء الغيب، كصوت من كان مستغرقاً في صمت طويل، ثم أضاف: «إنني عندما أنظر إليها، غالباً ما أشعر بأنها شيء صلب منصوب في الأعالي يحمينا مما وراءه».
قالت كيت وهي ترتعد قليلاً: «مما وراءه؟».
«نعم»
«وماذا وراءه؟». قالتها كيت بصوت خافت جداً.
«لاشيء، على ما أظن، سوى ظلام. ليل سرمدي».

Paul Bowles, Th Sheltering Sky

«السماوات تسبح بحمد الله؛ وتنبئ عن عظيم صنعته». سواء كان الملك داوود أو أي إنسان آخر قد غنى هذا النشيد فإن النجوم كانت تبدو برهاناً ساطعاً على نظام مثالي في الوجود مختلف تماماً عن دنيانا الأرضية الباهتة ذات الصخور والحجارة والأشجار. إن الشمس والنجوم الأخرى قد فقدت مكانتها المرموقة التي كانت لها في عهد داوود؛ فنحن نعرف اليوم أنها كرات من الغاز المتألق متماسكة بفعل الثقالة ومحمية من التقلص بفعل ضغط ناشيء عن حرارة منبعثة من تفاعلات ترمو نووية في أحشاء النجوم. فالنجوم لا تنبئ عن عظمة الله بأكثر ولا أقل مما تنبئ الحجارة على سطح الأرض حولنا.

إذا كان يوجد مما نستطيع اكتشافه في الطبيعة شيء **قادر** على إعطائنا فكرة عن صنعة الله، فهذا الشيء لا بد أن يكون قوانين الطبيعة النهائية. فبمعرفة هذه القوانين يصبح بين أيدينا كتاب القواعد التي تحكم النجوم والحجارة وكل شيء آخر. فمن الطبيعي إذن أن ينعت ستيفن هوكنغ قوانين الطبيعة بأنها «عقل الله». وبتعبير من شكل آخر يقول الفيزيائي الآخر، تشارلز ميسنر، بمناسبة المقارنة بين طموحات الفيزياء والكيمياء: «إن للكيميائي العضوي الحق في أن يجيب عن السؤال التالي: لماذا يوجد اثنان وتسعون عنصراً ومتى حصل

صنعها؟ قائلاً: إن الرجل الذي في المكتب المجاور يعرف ذلك. لكن الفيزيائي الذي فيه قد يجيب عن السؤال التالي: لماذا صُنع العالم مذعناً لبعض القوانين الفيزيائية ولا لسواها؟ بالقول: «الله أعلم». وقد قال أينشتاين ذات مرة لتلميذه إرنست شتراوس: «إن ما يهمني حقاً هو أن أعلم ما إذا كان لله أي خيار في خلق هذا العالم». وفي مناسبة أخرى وصف الهدف من مهمة الفيزياء بأنه «ليس مقصوراً على معرفة كيف هي الطبيعة وكيف تحصل التحولات فيها، بل وفي التوغل إلى أقصى مدى في الطموح والمثالية لمعرفة سبب **كون الطبيعة كما هي لا شيئاً آخر**.... بتلك الوسيلة يتعلم المرء، بعبارة مجازية، أن الله ذاته لم يكن يستطيع أن يُدبِّر هذه الروابط بأية طريقة أخرى غير تلك الموجودة فعلاً.... هنا يكمن العنصر البروميثي(*) في الخبرة العلمية... هنا، في رأيي، كان يكمن دوماً سحر المجهود العلمي». كانت ديانة أينشتاين غامضة لدرجة تجعلني أعتقد أنه أورد عن قصد جملة «بعبارة مجازية». لا شك أن هذه المجازات طبيعية لدى الفيزيائيين لأن الفيزياء أساسية جداً. وقد قال اللاهوتي بول تيليش ذات مرة بأن الفيزيائي وحده من بين رجال العلم يبدو قادراً على استعمال كلمة «الله» دون ارتباك. وسواء كان المرء متديناً أم غير متدين لا يستطيع تحاشي المجازات عندما يصف قوانين الطبيعة النهائية بأنها عقل الله.

لقد صادفتُ هذه الصلة المجازية في مكان لم أكن أتوقعها فيه. كان ذلك عندما شهدت لصالح مشروع المصادم الفائق عام ١٩٨٧ أمام لجنة العلم والفضاء والتقانة، حين كنت أشرح كيف تقود دراسة الجسيمات العنصرية إلى اكتشاف قوانين أصبحت ذات مزيد من التماسك والشمولية، وكيف بدأنا نشعر أن ذلك ليس مجرد مصادفة، وأن في هذه القوانين جمالاً يعكس شيئاً مصوغاً في مستوى عميق جداً من بنية العالم. وبعد هذه الملاحظات بدرت ملاحظات من شهود آخرين وأسئلة من أعضاء اللجنة. ثم تبع ذلك حوار بين عضوين من أعضائها، بين هاريس فاويل، النائب الجمهوري عن ولاية إيلينوي والمؤيد عموماً لمشروع المصادم الفائق، وبين دون ريتر، النائب الجمهوري عن ولاية بنسلفانيا، وهو مهندس تعدين سابق ومن أشد المعارضين لهذا المشروع في الكنغرس.

السيد فاويل: ... أشكركم جزيل الشكر. وأُقدر شهادتكم جميعاً. أعتقد أنها كانت ممتازة. ولو أردت ذات يوم أن أشرح لأحد الناس أسباب ضرورة المصادم الفائق، فأنا واثق من أنني أستطيع أن أستشهد بها. وستكون مفيدة جداً. كنت أرغب أحياناً في كلمة

---

* نسبة إلى بروميثيوس، إله النار عند قدماء الإغريق، سرقها من السماء كي تكون روح إنسان صنعه من طين الأرض؛ فعاقبه كبير الآلهة، زِفس، بأن صلبه على قمة جبل لتنهش النسور كبده. **المترجم**

واحدة تختصر كل شيء، ذلك ضرب من المستحيل. وأظن أنك يا دكتور واينبرغ قد اقتربت منها بعض الشيء، لست متأكداً ولكنني سأقولها. لقد ألمحتَ إلى أن وجود قواعد تحكم المادة ليس من قبيل المصادفة، وإنني أقولها باختصار، هل سيقودنا ذلك إلى اكتشاف الله؟ أنا أعلم أنك لم تقلها بصراحة، ولكن ذلك سوف يجعلنا بالتأكيد قادرين على فهم الكثير جداً من خفايا العالم؟

السيد ريتر: هل يوافق السيد على ذلك؟ إذا كان موافقاً فأود أن أقول...

السيد فاويل: لست متأكداً أنني أريد ذلك.

السيد ريتر: إذا كانت هذه الآلة ستفعل ذلك، سأغيِّر رأيي وأدعمها.

كان عندي ما يثنيني عن التدخل في هذا الحوار، لأنني لم أعتقد أن أعضاء الكنغرس كانوا يريدون أن يعرفوا رأيي في اكتشاف الله بالمصادم الفائق ولأنني أيضاً لم يكن يبدو لي أن المشروع سوف يستفيد من إبداء رأيي لهم في هذا الموضوع.

إن آراء بعض الناس في الله فضفاضة ومَرِنة جداً لدرجة أنهم يرونه حيثما بحثوا عنه. فكثيراً ما يقال إن «الله هو الآخِر» أو «الله المهيمن» أو «الله فاطر السماوات والأرض». إن كلمة «الله»، كسواها من الكلمات، يمكن أن تُعطى أي معنى نشاء. فإذا شئت أن تقول إن «الله طاقة» تستطيع أن تجده في مصباح الزيت. ولكن إذا كان لكل كلمة قيمة لدينا، يجب علينا أن نحترم طريقة استعمالها فيما شاع عبر التاريخ، وعلينا خصوصاً أن نتمسك بما يميز معنى كل كلمة عن معنى سواها فنحميها من الاختلاط بمعاني كلمات أخرى.

ومن هذا المنطلق يبدو لي أن كلمة «الله»، إذا أُريد استعمالها، يجب أن تؤخذ بمعنى إله مهتمّ، إله خالق ومشرِّع لم يَسُنَّ قوانين الطبيعة والعالم فحسب بل ومعايير الخير والشر أيضاً؛ وهو كائن يهتم بما نفعل؛ إنه بمختصر القول كائن يستحق منا أن نعبده(*). إنه الإله الذي أهمَّ الرجال والنساء عبر التاريخ. أما رجال العلم وسواهم من المفكرين فيستعملون **كلمة «الله» لتعني شيئاً مجرداً وغير معنيٍّ بشيء، لدرجة أنه يصعب التمييز بينه وبين قوانين** الطبيعة. وقد قال أينشتاين ذات مرة بأنه يعتقد «بإله سبينوزا، الذي يتجلى في تناسق

★ يجب أن يُفهم أنني، في مناقشة هذه الأمور، أتكلم عن نفسي فقط وأنني لا أدّعي فيها خبرة متميزة.

موجودات هذا الكون ، لا بإلٰه يهتم بمصائر وأفعال الكائنات البشرية » . ولكن ما الفرق الذي يراه الناس إذا استعملنا كلمة « الله » في محل كلمة « نظام » أو كلمة « تناسق » ، سوى أننا قد نتحاشى بذلك اتهامنا بالإلحاد ؟ إن الناس أحرار طبعاً في استعمال كلمة « الله » بهذا المعنى ، ولكن يبدو لي أن ذلك يجعل مفهوم الإلٰه بعيداً عن الخطأ ولكنه هامشي .

هل سنجد في قوانين الطبيعة النهائية إلهاً مهتماً ؟ يبدو أن في طرح هذا السؤال شيئاً يشبه التناقض ، لا لأننا لم نحصل بعدُ على هذه القوانين فحسب ، بل والأهم لأن من الصعب حتى أن نتصور أننا نمتلك مبادئ أعمق . ولكن مهما بدا هذا السؤال سابقاً لأوانه ، فمن الصعب أن لا نتساءل عما إذا كنا سنجد ، في نظرية نهائية ، أجوبة عن أعمق أسئلتنا ، ولو إشارة إلى أفعال إله مهتم . أعتقد أننا لن نتوصل إلى ذلك .

إن كل خبرتنا في تاريخ العلم تتجه في عكس ذلك ، في اتجاه قوانين طبيعية عديمة « الشخصية » جداً . وكانت أولَ خطوة على هذا الطريق زوالُ خرافة السماوات . فكل الناس **يعرفون ذلك ، من كوبرنيق ، الذي قال بأن الأرض ليست في مركز العالم ، إلى غاليلو ، الذي قال** بأن كوبرنيق كان على صواب ، إلى برونو ، الذي قال بأن الشمس ليست سوى نجم من نجوم كثيرة ، إلى نيوتن ، الذي برهن على أن قوانين الحركة والثقالة تنطبق على المنظومة الشمسية كما تنطبق بحذافيرها على الأجسام الأرضية . كانت المرحلة الحاسمة في رأيي ملاحظة نيوتن بأن قانون الثقالة نفسه يحكم حركة القمر حول الأرض وحركة سقوط الأجسام نحو سطح الأرض . وفي قرننا الحالي تُعتبر الخطوة التي خطاها الفلكي الأمريكي إدوين هَبْل أعظم من خطوة زوال خرافة السماوات . فبقياس المسافة التي تفصلنا عن سديم المرأة المسلسلة (أندروميدا) برهن هبل على أن هذا السديم وسواه من آلاف السدم المماثلة ليست أجزاء نائية من مجرتنا ، بل هي مجرات قائمة بذاتها لا تقل ضخامة عن مجرتنا . هذا لدرجة أن الفلكيين الحديثين يتكلمون عن مبدأ كوبرنيقي مفاده أن لا تؤخذ بعين الجد أية نظرية كونية تضع مجرتنا في موقع متميز من هذا العالم .

والحياة أيضاً قد أُزيلت خرافتها . فقد برهن جوستوس فون ليبيغ وكيميائيون عضويون آخرون منذ مطلع القرن التاسع عشر على عدم وجود ما يحول دون الحصول في المختبر على مواد كيميائية ، كحمض البولة ، مرتبطة بالحياة . والأهم من ذلك كله أن داروين وألفريد رَسْل والاس قد بيَّنا كيف يمكن للأحياء أن تتطور تطوراً رائعاً عبر انتخاب طبيعي دون خطة خارجية أو إرشاد . وقد تسارع زوال الخرافات في هذا القرن بفضل ما أحرزته البيوكيمياء والبيولوجيا الجزيئية من نجاحات متواصلة في شرح كيفية أداء الكائنات الحية .

كان لزوال الخرافات عن الحياة أثر في المعتقدات الدينية أعظم بكثير من أثر أي اكتشاف فيزيائي. وليس من الغريب أن تلقى الاختزالية البيولوجية ونظرية التطور معارضة أشد بكثير من معارضة الاكتشافات الفيزيائية والفلكية.

هذا لدرجة أن تسمع أحياناً من العلميين أنفسهم تلميحات إلى القوة الحيوية، أي إلى الاعتقاد بوجود عمليات بيولوجية لا يمكن تفسيرها في إطار الفيزياء والكيمياء. ففي هذا القرن ابتعد البيولوجيون عموماً (بمن فيهم خصوم الاختزالية مثل إرنست ماير) عن مذهب القوة الحيوية، في حين أن شرودنغر قد دافع، حتى في عام ١٩٤٤ وفي كتابه الشهير ما هي الحياة؟ عن هذا المذهب قائلاً: «إن لدينا من المعلومات عن البنية المادية للحياة ما يكفي لكي نقول بالضبط لماذا لا تستطيع فيزياء اليوم أن تفسر الحياة». كانت حجته أن المعلومات الوراثية التي تحكم العضويات الحية أرسخ من أن نستطيع إدخالها في عالم التفاوتات المستمرة التي يتكلم عنها ميكانيك الكم والميكانيك الإحصائي. لكن البيولوجي الجزيئي، ماكس بيروتز، الذي اكتشف من جملة ما اكتشفه بنية الهيموغلوبين، أبرز خطأ هذا الرأي حين قال بأن شرودنغر كان يجهل الاستقرار الذي يمكن أن تمنحه العملية الكيميائية المعروفة باسم التحفيز الإنزيمي.

أما الانتقاد التقليدي الأكثر شيوعاً لمذهب التطور فقد ورد على لسان فيليب جونسون، الأستاذ في مدرسة الحقوق بجامعة كولمبيا؛ فهو يوافق على أن التطور قد حدث وأنه ناجم أحياناً عن تطور طبيعي، ولكنه يتذرع بعدم وجود «برهان تجريبي لا يقبل الجدل» على أن التطور ليس محكوماً بخطة ربانية. صحيح أن ما من أحد يستطيع أبداً أن يأمل ببرهان يثبت عدم حدوث مداخلة خارقة للطبيعة تسيطر على التسلسل لمصلحة بعض الطفرات وضد طفرات أخرى. ولكن هذه المقولة نفسها تنسحب على كل نظرية علمية. فلا شيء، مثلاً، في التطبيق الناجح لقوانين نيوتن أو أينشتاين على المنظومة الشمسية يمنعنا من افتراض أن مذنباً كان قد تلقى بين حين وآخر دفعة صغيرة من مداخلة ربانية. يبدو من الواضح أن جونسون قد أثار هذه القضية، لا انطلاقاً من ذهن حيادي مفتوح بل لأسباب دينية تجعله أكثر اهتماماً بشؤون الحياة منه بشؤون المذنبات. لكن الطريقة الوحيدة التي يمكن اتباعها في معالجة أي نوع من أنواع العلم تقضي بافتراض عدم وجود مداخلة ربانية وبمعرفة إلى أي مدى يمكن أن يوصل هذا الافتراض.

إن جونسون يرى أن فكرة التطور الطبيعي، «التطور الذي لا يقتضي مداخلة أو إرشاداً من خالق خارجي عن العالم الطبيعي»، لا تقدم في الواقع تفسيراً جيداً جداً لأصل الأجناس. أعتقد أنه مخطئ هنا لأنه ليس عنده شعور بالمسائل التي تصادفها

النظريات العلمية كلها في تفسير ما نشاهده. فحساباتنا أو أرصادنا، حتى لو غضضنا النظر عن الأخطاء الأساسية، تستند دوماً إلى افتراضات تذهب إلى أبعد من مجال صحة النظرية التي نختبرها. فلم يحدث قط أن كانت الحسابات المعتمدة على نظرية نيوتن الثقالية، أو أية نظرية أخرى، متفقة بالتمام والكمال مع الأرصاد. وفي كتابات علماء المستحاثات وبيولوجيي التطور نستطيع أن نرى أن لديهم أوضاعاً تماثل ما لدينا في الفيزياء؛ وباستخدام نظرية التطور الطبيعي يعمل البيولوجيون في إطار نظرية ناجحة جداً، لكنها لم تستكمل بعد عملها التفسيري. ويبدو لي من الأهمية بمكان أن نستطيع الذهاب بعيداً جداً في تفسير العالم دون اللجوء إلى فكرة مداخلة ربانية، وذلك في البيولوجيا والفيزياء على حد سواء.

ولكنني أتفق مع جونسون في ناحية أخرى، هي أن بين نظرية التطور الطبيعي وبين الدين كما نفهمه عموماً تعارضاً واضحاً، وهو وبخ رجال العلم والمعلِّمين الذين ينكرون هذا التعارض. ويتابع قوله متذمراً من أن «التطور الطبيعي لا يتفق مع وجود «الله» إلا إذا كانت هذه الكلمة لا تعني أكثر من مسبب أول انسحب من كل نشاط لاحق بعد أن أرسى قوانين الطبيعة ووضع الآلية الطبيعية للحركة».

إن التعارض بين نظرية التطور الحديثة وبين الاعتقاد بإله غير مهتم لا يبدو لي شيئاً منطقياً يستطيع ـــ المرء أن يتصور أن الله قد أرسى قوانين الطبيعة وأطلق عنان عمل آلية التطور كي نظهر أنت وأنا ذات يوم بفعل الانتخاب الطبيعي ـــ لكن يوجد فرق حقيقي في المزاج. فالدين لم ينشأ أصلاً في عقول رجال ونساء كانوا يتكهنون بخصوص مسببات أولى عالمة بالغيب دون حدود، بل نشأ في قلوب أولئك الذين كانون يتوقون إلى مداخلة مستمرة من إله مهتم.

إن المتدينين المحافظين يعرفون، وإن لم يكن معظم خصومهم المتحررين لا يدركون ذلك على ما يبدو، مبلغ أهمية هذه القضية في الجدل القائم حول تعليم نظرية التطور في المدارس العمومية. ففي عام ١٩٨٣، وبعد قدومي إلى تكساس، دعيتُ لإبداء رأيي أمام لجنة من مجلس شيوخ تكساس في إصدار قانون يحظر تعليم نظرية التطور في ثانويات الولاية ما لم تُعرض بالتساوي نظرية الخلق. فسألني أحد أعضاء اللجنة كيف يمكن للولاية أن تؤيد تعليم نظرية علمية كنظرية التطور تطعن في العقيدة الدينية. فأجبته أن حذف تعليم نظرية التطور، بالنسبة للمتهمين بالتعاطف مع الإلحاد، يشبه الخطأ في الإلحاح على نظرية التطور بأكثر مما يقتضيه تعليم البيولوجيا، وليس مما يتفق مع الدستور أن يولى التطور أهمية أقل كوسيلة لحماية العقيدة الدينية. وليس من شأن المدارس العمومية أن تشغل نفسها، بطريقة

أو بأخرى ، بالمضامين الدينية للنظريات العلمية . لكن جوابي لم يُرض عضو اللجنة الذي كان يعلم ، كما أعلم ، مفعول تدريس البيولوجيا بشكل يعطي نظرية التطور مكانها اللائق بها . وقد قال ، وأنا أغادر غرفة اللجنة : « إن الله ما يزال في السماء على كل حال » ربما ، ولكننا ربحنا تلك المعرفة ؛ واليوم أصبحت كتب المدارس الثانوية في تكساس ملزمة ، لا مخولة فحسب ، بتعليم نظرية التطور الحديثة ، دون ذكر عقيدة الخلق . ولكن يوجد بلدان عديدة (خصوصاً البلدان الإسلامية الآن) لم تُربح فيها هذه المعركة بعد ، ولا يوجد ما يؤكد أنها ستظل رابحة في كل مكان .

وغالباً ما نسمع أن العلم لا يتعارض مع الدين . فقد قال ستيفن غولد مثلاً ، في معرض تعليقه على كتاب جونسون ، بأن العلم والدين لا يتعارضان ، لأن « العلم يتعامل مع الواقع العملي ، في حين أن الدين يهتم بأخلاق البشر » .. إنني أميل إلى موافقة غولد في معظم الأشياء ، ولكنني هنا أعتقد أنه يذهب إلى أبعد من اللازم ؛ ذلك أن مغزى الدين يتحدد بما يعتقده فعلاً الناس المتدينون ، وهؤلاء بأكثريتهم الساحقة سوف يندهشون من مقولة إن الدين لا صلة له البتة مع الواقع العملي .

لكن رأي غولد واسع الانتشار اليوم بين العلميين والمتدينين المنفتحين .. وهذا ، كما يبدو لي ، يمثل تراجعاً كبيراً للدين من المواقع التي كان يحتلها ذات يوم . كانت الطبيعة تبدو عصرئذ عصية على الفهم بدون حورية في كل غدير وعفريت في كل غابة . حتى في عصر متأخر ، كالقرن التاسع عشر ، كانت تصاميم النباتات والحيوانات تُعتبر دليلاً واضحاً على وجود خالق . صحيح أن الطبيعة ما تزال تحوي أشياء كثيرة جداً لا نستطيع تفسيرها ، ولكننا نعتقد أننا نعرف المبادئ التي تحكم طريقة حدوثها . وعلينا اليوم ، لمعرفة الأسرار الحقيقية ، أن ندرس علم الكون وفيزياء الجسيمات العنصرية . وبالنسبة لأولئك الذين لا يرون تعارضاً بين العلم والدين ، أصبح انسحاب الدين من الأرض التي يحتلها العلم يكاد يكون كاملاً .

وبالاستناد إلى هذه الخبرة التاريخية يحق لي أن لا أتوقع ، برغم الجمال الذي سنجده في قوانين الطبيعة النهائية ، أن نجد مكانة خاصة للحياة والذكاء . ومن باب أولى ، لن نجد معايير للقيم والأخلاق . أي أننا لن نجد أي أثر لإله يهتم بمثل هذه الأشياء . قد نعثر على هذه الأشياء في مكان آخر ، ولكن ليس في قوانين الطبيعة .

عليَّ أن أعترف أن الطبيعة تبدو لي أحياناً جميلة أكثر مما ينبغي لها أن تكون . فمن نافذة مكتبي في البيت شجرة ميس كثيراً ما تعقد عليها الطيور اجتماعات سياسية ؛ الغربان الزرقاء والعصافير الدورية وذوات العنق الأصفر ، والأجمل منها جميعاً العنادل الحمراء أحياناً . ورغم أنني أعرف جيداً كيف تطورت تلاوين الريش من تنافس الإناث على الذكور الجميلة ،

لا أملك نفسي من تصور أن هذا الجمال كله قد حصل لإمتاعنا. ولكن إله الطيور والأشجار هو أيضاً إله التشوهات الولادية والسرطان.

لقد تجادل المتدينون قروناً طويلة بخصوص القدر السيء أي مسألة وجود الشقاء في عالم يُفترض أنه محكوم بإله يريد الخير لعباده. فاخترعوا حلولاً تعتمد على افتراض وجود خطط ربانية متنوعة. أنا لن أحاول مناقشة هذه الحلول، وأقل من هذا أن أضيف من عندي حلاً آخر. والتفكر بالأضاحي البشرية والقرابين لا يدع لي مجالاً للتعاطف مع محاولات تبرير التقرب من الله. فإذا كان يوجد إله عنده خطط خاصة للبشر، فلا شك أنه يبذل قصارى جهده لإخفاء اهتمامه بنا. وأنا يبدو لي أن من العيب، إن لم يكن من الإثم، أن نزعج مثل هذا الإله بصلواتنا.

ليس كل العلميين يشاطرونني هذه النظرة «الباردة» إلى القوانين النهائية. وأنا لا أعرف أحداً يؤكد صراحة أن هناك دليلاً علمياً على كائن رباني، وإن كان عدد من العلميين يرون أن للحياة الذكية مكانة خاصة في الطبيعة، ولكن، وإن كنا جميعاً نعلم أن البيولوجيا وعلم النفس يجب أن تُدرسا عملياً بطرائقهما الخاصة، لا بطرائق فيزياء الجسيمات العنصرية، فإن ذلك ليس دليلاً على مكانة خاصة للحياة أو الإدراك. وهذا الكلام ينسحب على الكيمياء وميكانيك الموائع. ومن جهة أخرى لو اكتشفنا للحياة الذكية دوراً متميزاً في القوانين النهائية عند التقاء أسهم التفسير، لا يسعنا عندئذ سوى أن نستنتج أن الخالق الذي أرسى هذه القوانين كان بمعنى ما مهتماً بنا بشكل خاص.

كان جون ويلر في الواقع متأثراً بتفسير كوبنهاغن لميكانيك الكم، أي لا يمكن أن يقال عن المنظومة الفيزيائية بأن لها قيماً محددة لمقادير كالموضع أو الطاقة أو الاندفاع إلى أن يقيسها الراصد بجهازه. ويرى ويلر أن نوعاً ما من الحياة الذكية مطلوب لإعطاء معنى لميكانيك الكم. وقد ذهب مؤخراً إلى أبعد من ذلك وقال بأن نشوء الحياة الذكية ليس ضرورياً فحسب بل ويجب أن يستمر ليعم كل أجزاء العالم كي يمكن عموماً رصد كل قطعة معلومات عن حالة العالم الفيزيائية. وهنا يبدو لي أن ويلر يقدم نموذجاً جيداً عن أخطار التمادي في الاعتماد على مذهب الحواسية (الوضعية، اليقينية Psitivism). وهناك فيزيائيون آخرون، وأنا منهم، يفضلون النظر إلى ميكانيك الكم بطريقة واقعية أخرى ترى أن تابع الموجة لا يصف الذرات والجسيمات فحسب، بل والمختبرات والرصاد، وأن هذا التابع محكوم بقوانين مستقلة مادياً عن وجود الراصد أو عدم وجوده.

إن بعض العلميين يولون أهمية كبيرة لواقع أن بعض الثوابت الفيزيائية لها قيم تبدو مناسبة جداً نشوء حياة ذكية في العالم. إن هذه الملاحظة لا تنطوي حتى الآن على شيء واضح، ولكنها حتى لو كانت كذلك فإنها لا تتضمن بالضرورة مداخلة ربانية مقصودة. وإن ما نسميه ثوابت الطبيعة (ككتل الجسيمات العنصرية) تتغير، في عدة نظريات كونية حديثة، من مكان لآخر أو من وقت لآخر، أو حتى من حد لآخر في تابع الموجة الذي يصف العالم. وإذا كان ذلك صحيحاً فإن العلمي الذي يدرس قوانين الطبيعة لا بد أن يكون عائشاً في جزء من العالم ذي ثوابت طبيعية صالحة لتطور حياة ذكية.

وكتشبيه على ذلك هب أن هناك كوكباً نسميه توأم الأرض وأنه يماثل أرضنا في كل شيء باستثناء أن على هذا الكوكب بشراً مثلنا قد صنعوا فيزياء دون أن يعلموا شيئاً عن علم الفلك (كأن تكون سماؤهم ملبدة كلها بالغيوم على الدوام). إن طلاب هذا الكوكب التوأم، كطلاب الأرض، لديهم في كتبهم جداول ثوابت أساسية. وهذه الجداول تحوي سرعة الضوء وكتلة الإلكترون... وهكذا، وكذلك ثابتة «أساسية» أخرى قيمتها ١٫٩٩ حريرة في الدقيقة في السنتيمتر المربع، وهي الطاقة التي تصل إلى سطح هذا الكوكب من مصدر خارجي مجهول. إننا على أرضنا نسمي هذا العدد ثابتة شمسية لأننا نعلم أن هذه الطاقة تأتي من الشمس؛ لكن لا أحد من سكان الكوكب التوأم يملك وسيلة لمعرفة من أين تأتي هذه الطاقة ولماذا اتخذت هذه الثابتة تلك القيمة الخاصة. قد يتيسر لأحد فيزيائيي الكوكب التوأم أن يلاحظ أن القيمة المقيسة لهذه الثابتة ملائمة جداً لنشوء الحياة. ولكن لو كان توأم الأرض هذا يتلقى طاقة أكبر بكثير أو أصغر بكثير من ٢ حريرة في الدقيقة في السنتيمتر المربع لتبخرت مياه المحيطات أو لتجمدت تاركة التوأم بدون ماء سائل أو بديل معقول يتيح للحياة أن تتطور. قد يستنتج هذا الفيزيائي أن القيمة ١٫٩٩ حريرة / دقيقة / سم^{2} كانت تبدو قد ولِّفت بدقة وبقدرة الله لمصلحة الإنسان. لكن زملاء هذا الفيزيائي على سطح التوأم، ممن لم يقتنعوا بهذا التفسير، قد يردُّون عليه بأن أمثال هذه الثوابت سوف تفسر آخر الأمر بالقوانين النهائية في الفيزياء، وأن القيم الملائمة للحياة قد حصلت بمحض مصادفة سعيدة. الواقع أن كليها على خطأ. ذلك أن سكان التوأم سوف يصنعون علم الفلك، وسيعلمون عندئذ أن كوكبهم يتلقى هذه القيمة «الثابتة» (١٫٩٩ ح / د / سم^{2}) لأنه اتفق له، كالأرض، أن يوجد على مسافة ٩٣ مليون ميل من شمس تبعث ٥٦٠٠ مليون مليون مليون مليون حريرة في الدقيقة. لكنهم سيرون أيضاً كواكب أخرى بعضها أقرب منهم إلى الشمس وبعضها أبعد، وهي إما أسخن أو أبرد من أن تتيح نشوء الحياة؛ كما سيرون حتماً منظومات لا تُحصى، كمنظومتنا الشمسية، ذات كواكب قليل منها يصلح للحياة. وعندما يعرفون أشياء عن علم

الفلك يُدرك فيزيائيو التوأم أخيراً أن سبب وجودهم في عالم يستقبل ٢ حريرة / د / سم[٢] يعود إلى عدم وجود نوع عالمي آخر **صالح** لحياتهم . ونحن في هذا الجزء من العالم ربما نكون على شاكلة سكان توأم الأرض قبل أن يعرفوا شيئاً عن علم الفلك ، ولكن مع أجزاء أخرى من العالم بدلاً من كواكب أخرى خفية عن نظرنا .

يمكنني أن أذهب إلى أبعد من ذلك . فنحن كلما ازداد عدد المبادئ الفيزيائية الأساسية التي نكتشفها ، تبدو لنا هذه المبادئ أقل فأقل علاقة بنا . وكمثال على ذلك ما علينا سوى أن نتذكر أننا كنا ، في عشرينيات هذا القرن ، نظن أن الإلكترون والبروتون هما الجسيمان العنصريان الوحيدان اللذان يتألف منهما العالم كله ، ونحن منه . وعندما اكتشفنا جسيمات أخرى كالنترون اعتبرناها بالبداهة أول الأمر مصنوعة حتماً من إلكترونات وبروتونات . لكن الأمور أصبحت مختلفة جداً الآن . فنحن لم نعد ندري ما نعنيه عندما نقول عن جسيم إنه عنصري . لكننا تعلمنا درساً ثميناً هو أن وجود الجسيمات في المادة العادية لا يعني أنها أساسية أكثر أو أقل من سواها . فكل الجسيمات تقريباً ، التي تظهر حقولها في النموذج المعياري الحديث ، تتفكك بسرعة كبيرة لدرجة أنها غير موجودة في المادة العادية وليس لها أي دور في الحياة البشرية . لكن الإلكترونات تؤدي وظيفة جوهرية في حياتنا اليومية ؛ أما الجسيمات التي نسميها ميونات وتاوونات فلا تلعب أي دور في حياتنا ؛ ومع ذلك فإن الإلكترونات ، كما تظهر في نظرياتنا ، لا تبدو بأي معنى أقل أساسية من الميونات والتاوونات . وعلى كل حال لم يكتشف أحد حتى الآن أية علاقة بين أهمية **أي شيء** بالنسبة لنا وبين أهميته في قوانين الطبيعة .

وعلى كل حال ، من الطبيعي أن لا يتوقع معظم الناس اكتساب معلومات عن الله من المكتشفات العلمية . ولذلك كان جون بولكنغرون يدعو بصراحة إلى نظرية لاهوتية « توضع في مسيرة الفكر البشري على صعيد يجد العلم أيضاً مكاناً فيه » ، نظرية تُسند إلى معاناة دينية كالإلهام تشبه كثيراً طريقة إسناد العلم إلى التجربة والرصد . وعلى أولئك الذين تعرضوا إلى معاناة دينية شخصية أن يستندوا إلى قيمة ما اختبروه بأنفسهم . لكن الواقع أن معظم رجال الدين لا يستندون إلى معاناتهم الشخصية ، بل إلى إيحاءات افترض آخرون أنها نزلت عليهم . وقد يظن بعض الناس أن الطريقة هنا لا تختلف عما يفعله الفيزيائيون النظريون حين يستندون إلى تجارب سواهم ؛ ولكن شتان بين هذا وذاك . فوجهات نظر آلاف الأفراد العلميين قد انتهت إلى فهم مشترك (وإن كان ناقصاً) للحقائق الفيزيائية ؛ في حين أن المقولات عن الله ، أو أي شيء آخر مستمد من الوحي الديني ، مشتتة في اتجاهات

متخالفة. ورغم مرور آلاف السنين على التحليلات اللاهوتية لم نقترب الآن أكثر من ذي قبل نحو فهم مشترك لتعاليم الوحي الديني.

وهناك فرق آخر بين الممارسة الدينية والتجربة العلمية. فالإنسان يمكن أن يُقنع نفسه ويطمئنها بتعاليم الممارسة الدينية، بخلاف الآراء المجردة غير الشخصية المتفق عليها والمستمدة من البحث العلمي. والممارسة الدينية، بخلاف العلم، يمكن أن توحي بمعنى لحياتنا؛ إنها جزء يؤدي بالنسبة لنا دوره في مسرحية الإثم والتكفير الكونية، وهي تزودنا بالأمل بنوع من الاستمرار بعد الموت. ولهذه الأسباب وحدها يبدو لي أن تعاليم الممارسة الدينية مطبوعة ببصمة من الأماني لا تمحي.

كنت عام ١٩٧٧ متسرعاً بعض الشيء في كتابي، الدقائق الثلاث الأولى، حين قلت: «كلما ازدادت معرفتنا بالعالم ازداد إحساسنا بأنه لا يهدف لشيء». لم أكن أعني أن العلم يخبرنا بأن العالم لا يهدف لشيء، بل إن العالم بحد ذاته لا يوحي بهدف. ولكنني أسرعت فأضفت أننا يمكن أن نخترع بأنفسنا هدفاً لحياتنا، بما في ذلك محاولة فهم العالم. لكن المحذور كان قد حصل، فراحت هذه الجملة تطاردني منذ ذلك الوقت. وقد نشر مؤخراً آلان لايتمان وروبرتا بروير محادثاتٍ مع سبعة وعشرين من علماء الكون والفيزياء سئل أغلبهم في نهاية المحادثة عن رأيهم في تلك الملاحظة. وبتعابير متنوعة كان عشرة منهم متفقين معي وثلاثة عشر مخالفين؛ ولكن من بين هؤلاء الثلاثة عشر ثلاثة لا يرون لماذا **يتوقع** المرء أن يكون العالم غير ذي هدف. وقد سألتْ فلكية هارفارد، مارغاريت جيلر، «... لماذا يجب أن يكون له هدف؟ أي هدف؟ إنه منظومة فيزيائية لا غير، وما الهدف منه؟ لقد كنت دوماً في حيرة من هذه المقولة». وقال فيزيائي برنستون الفلكي، جيم بيبلز: «أنا ميال للاعتقاد بأننا مخلوقات تافهة». (لقد تكهن بيبلز أيضاً بأنني كنت في يوم شؤم). وقد اتفق معي زميله في برنستون، إدوين تورنر، ولكنه تكهن بأنني كنت أقصد من ملاحظتي إثارة القارئ. ولكن الجواب الأفضل عندي جاء من زميلي في تكساس، الفلكي جيرارد دو فوكولور، الذي عبر عن اعتقاده بأن ملاحظتي كانت من قبيل «الحنين». لقد كانت فعلاً ـــ الحنين إلى عالم تُسبح فيه السماوات بحمد الله.

وقبل قرن ونصف من الزمان رأى ماتيو أرنولد في تراجع مياه المحيط في الجزر صورة مجازية لتراجع الإيمان الديني، وسمع في صوت الماء «نغمة حزن». إن من الرائع أن نجد في قوانين الطبيعة خطة وضعها خالق مهتم وتؤدي فيها الكائنات البشرية دوراً متميزاً. وأنا أشعر بالحزن عندما أشك في ذلك. ومن زملائي العلميين نفر يقولون بأن التأمل في الطبيعة يعطيهم راحة ذهنية كان الآخرون يجدونها في الاعتقاد بإله مهتم. ربما كان بعضهم يشعر فعلاً هذا

الشعور ، أما أنا فلا . ويبدو لي أن لا فائدة من المساواة بين الطبيعة كما فعل أينشتاين ، وبين إله بعيد غير مهتم . ونحن كلما أمعنّا في فهم الله لنجعل الفكرة معقولة نزداد اقتناعاً بعدم وجود هدف .

من الأرجح أن أمثالي قليلون جداً من بين رجال العلم الذين يهتمون بهذه الأمور . ففي المناسبات النادرة التي تدور فيها على الغداء أو « العصرونية » أحاديث عن الدين يُعبر زملائي الفيزيائيون بمعظمهم عن ردة فعل قاطعة تنم عن دهشة كبيرة وتفكه إزاء من ما زالوا يعتنقون الأفكار الدينية . وهناك فيزيائيون عديدون يحافظون على انتماء اسميّ إلى إيمان أهليهم وكأنه شكل من الهوية العرفية وللاستعمال في حفلات الزفاف أو في الجنائز . ولكن أكثريتهم لا يأبهون بتاتاً بلاهوتية ديانتهم الاسمية . فأنا أعرف اثنين من المختصين بالنسبية العامة يعتنقان الإيمان الكاثوليكي الروماني ، وعدة فيزيائيين نظريين يهوداً ملتزمين ، وفيزيائياً نظرياً واحداً عاد إلى مسيحيته ، وفيزيائياً نظرياً واحداً مسلماً متفانياً ، وفيزيائياً رياضياً واحداً اتخذ رتبة قدسية في الكنسية الإنكليزية . ولا شك أن هناك فيزيائيين آخرين متدينين في أعماقهم ، ممن لا أعرفهم أو ممن يحتفظون بآرائهم لأنفسهم . ولكن معظم فيزيائيي هذه الأيام هم ، بقدر ما أعرف من تحرياتي الخاصة ، على درجة من عدم الاكتراث بالدين تكفي لوصفهم بالملحدين الممارسين .

ومن المتدينين المتحررين من هم بمعنى ما أبعد ذهنياً عن العلميين من الأصوليين وسواهم من المتدينين المحافظين . فالمحافظون يعترفون على الأقل ، كالعلميين ، بأنهم يعتقدون بما يعتقدون لأنه صحيح ، لا لأنه يجعلهم من الصالحين أو السعداء . ومن المتدينين الأحرار أناس يرون أن من حق كل امرئ أن يعتقد بما يريد ولو اختلف في العقائد عن سواه ودون أن يكون مخطئاً ، ما دامت عقائدهم « تعمل لصالحهم » . فهذا يؤمن بالحلول ، وذاك بالجنة والنار ، وثالث بانطفاء الروح عند الموت ؛ ولكن لا يمكن أن يقال عن أي منهم بأنه مخطئ ما دام يشعر بالقناعة التامة بما يعتقد . ونحن ، كما تقول سوزان سونتاغ ، محوطون « بالتقى بدون قناعة » . وهذا كله يُذكِّرني بقصة رواها برتراند رَسْل ، حصلت له عندما كان سجيناً عام ١٩١٨ بسبب معارضته للحرب . وكما كان شائعاً آنذاك سأل السجان رسْل عن دينه ، فأجابه بأنه من اللاأدريين ، فظهرت الحيرة على وجه السجان ثم غمغم قائلاً : « لا بأس على ما أظن . إننا كلنا نعبد إلهاً واحداً ، أليس كذلك » ؟

لقد سئل باولي ذات مرة عن نشرة مصوغة بشكل سيئ جداً ، هل هي خاطئة ؟ فأجاب بأن مثل هذه الصفة ألطف مما تستحق ــ لم تكن النشرة خاطئة كلها . وأنا أميل إلى الاعتقاد بأن المتدينين المحافظين مخطئون فيما يعتقدون ، ولكنهم على الأقل لم ينسوا المعنى

الحقيقي للاعتقاد بالشيء، أما المتدينون المتحررون فأرى أنهم لا يستحقون حتى أن نقول عنهم إنهم مخطئون.

وغالباً ما تسمع أن علم اللاهوت ليس شيئاً مهماً في الدين ــ المهم أن نعرف كيف يساعدنا الدين على العيش. إن من الغريب أن لا يكون وجود الله وطبيعته والغفران والإثم والجنة والنار أشياء مهمة! وأنا أميل إلى الظن بأن الناس لا يجدون أهمية في استقصاء الألوهية النابعة من عقيدتهم الدينية المجانية، لأنهم لا يستطيعون أن يقنعوا أنفسهم بالاعتراف بأنهم لا يعتقدون بأي شيء منها.

قد ينفر المرء من الغموض الفكري الموجود لدى المتدينين المتحررين، لكن العقيدة الدينية المحافظة هي التي تسبب الأذى، بالرغم من إسهاماتها الرائعة في التعاليم الأخلاقية وفي حقل الفنون. وليس هنا مكان الدعوة إلى استخلاص رصيد الموازنة بين هذه الإسهامات في كفة وبين تاريخ العنف الوحشي الذي ظهر في الحروب الصليبية والجهاد الديني ومحاكم التفتيش والمذابح الدينية في الكفة الأخرى. ولكنني أريد فعلاً أن أقول إن الأمانة تقضي بأن لا نفترض، في هذه الموازنة، أن الاضطهادات الدينية والحروب المقدسة انحرافات عن الدين الصحيح. ويبدو لي أن افتراض ذلك دليل على موقف واسع الانتشار إزاء الدين، وهو موقف احترام عميق ممزوج بكثير من عدم الاكتراث. وإن معظم الأديان الكبرى تُعلِّم الناس أن الله يطلب إيماناً خاصاً معيناً وشكلاً معيناً من أشكال العبادة. فليس لنا إذن أن نندهش من **بعض** الناس الذين يتمسكون بهذه التعاليم حين يعتقدون بنزاهة أن من واجبهم أن يعتبروا وصايا الله شيئاً أهم بكثير من الفضائل الدنيوية، كالتسامح أو الرحمة أو التعقل.

إن قوى الشر المتعصبة للدين تلمّ شملها عبر آسيا وأفريقيا، ولا يتوفر التعقل ولا التسامح حتى في دول الغرب العلمانية. وقد قال المؤرخ هيو تريفور ــ روبر بأن انتشار روح العلم **في القرنين السابع عشر والثامن عشر هو الذي أوقف أخيراً إحراق السحرة في أوربا. وقد نحتاج من جديد إلى التعويل على تأثير العلم للحفاظ على عالم مأمون. وليست موثوقية المعرفة العلمية هي التي** تؤهل العلم لتأدية هذه الوظيفة، بل **الارتياب** فيها. فإذا كان العلميون يغيرون آراءهم مراراً وتكراراً بخصوص القضايا التي يمكن أن تُدرس بالتجارب المخبرية مباشرة، كيف يمكن للمرء أن يتمسك بادعاءات التقاليد الدينية أو الصحف المقدسة بأنها تعلم شيئاً عن أمور تتجاوز الخبرة البشرية؟

لا ريب في أن العلم كان له إسهامه الخاص بالويلات التي حلّت بالعالم، ولكن عموماً في إعطائنا وسائل قتل بعضنا بعضاً، لا دوافعه. فحيث كانت سلطة العلم مدعاة لتبرير الفظائع، كان ذلك حقاً انحرافاً عن العلم، كالعرقية النازية و«علم تحسين النسل». وبهذا

الصدد يقول كارل بوبر : « إن من الواضح جداً أن اللاعقلانية ، لا العقلانية ، هي المسؤولة عن كل عداوة وعدوان بين الأمم ، وذلك قبل الحروب الصليبية وبعدها ؛ لكنني لا أعرف أي حرب نشبت لهدف « علمي » وأوحى بها رجال العلم » .

وأنا لا أعتقد أن من الممكن ، مع الأسف ، تبرير أساليب المحاكمة العلمية ببرهان عقلي . وقد شعر ديفيد هيوم منذ زمن بعيد بأننا في اعتمادنا على خبرتنا الماضية بالعلم الناجح نفترض الصحة المطلقة لأسلوب المحاكمة التي نحاول تبريرها . وبالطريقة نفسها يمكن إبطال الحجج المنطقية بمجرد أن تُرفض المحاكمة المنطقية . وبذلك لا نستطيع أن نتجاهل السؤال التالي : إذا لم نجد في قوانين الطبيعة الراحة الروحية المنشودة ، لماذا لا نبحث عنها في مجال آخر ــ في سلطة روحية أخرى من نوع ما ، أو في نهضة إيمانية مستقلة ؟

إن اتخاذ قرارنا بالاعتقاد أو عدمه ليس في أيدينا ، فأنا قد أكون أسعد حظاً وأحسن سلوكاً لو فكرتُ بأنني سليل أباطرة الصين ؛ ولكنني لا أستطيع مهما أوتيت من إرادة أن أُقنع نفسي بذلك ، كما لا أستطيع بالإرادة أن أوقف قلبي عن النبضان . ومع ذلك يبدو أن هناك أناساً قادرين على بعض التحكم بما يعتقدون ويختارون الاعتقاد بما يظنون أنه يجعلهم صالحين وسعداء . وأحسن شرح أعرفه لكيفية عمل هذا التحكم يتجلى في رواية جورج أورويل المنشورة عام ١٩٨٤ . كان بطل الرواية ، ونستون سميث ، قد كتب في يومياته أن « الحرية هي حرية أن تقول بأن اثنين واثنين أربعة » ، فاعتبر المحقق ، أوبريان ، هذه المقولة تحدياً ، ونوى أن يجبر سميث على تغيير رأيه . وتحت التعذيب أراد سميث جدياً أن يقول بأن اثنين واثنين خمسة ، لكن ذلك لم يكن ما يقصده أوبريان . وعندما أصبح الألم لا يُحتمل تدبر سميث أمره لإقناع نفسه بأن اثنين واثنين يساويان **حقاً** خمسة . فرضيَ أوبريان وقتياً وعلّق التعذيب . وبالطريقة نفسها نُضطر ، بسبب ألمنا من مواجهة موتنا أو موت من نحبهم ، إلى تبني عقائد تخفف هذا الألم . فإذا كنا قادرين على تدبير عقائدنا في سبيل هذا الهدف ، لماذا لا نفعل ذلك ؟

أنا لا أستطيع أن أجد سبباً علمياً أو منطقياً يمنع البحث عن العزاء بطريقة تدبير العقائد ــ باستثناء سبب أدبي هو النزاهة . وما رأينا بامرئ تدبر إقناع نفسه بأنه لا بد أن يربح في اليانصيب لأنه بحاجة ماسة إلى المال ؟ قد يحسد بعض الناس هذا الرجل على تطلعاته العظيمة القصيرة الأمد ، ولكن الأكثرية تعتبره فاشلاً في أداء دوره كرجل بالغ وإنسان عقلاني يبحث عن الأشياء كما هي . وبالطريقة نفسها التي كان على كل منا أن يتعلمها لينشئ شخصيته على مقاومة إغراء الأحلام والأماني تعلمنا تنشئة أنفسنا على أننا ، نحن البشر ، لا نلعب دور البطولة بأي شكل من الأشكال في المسرحية الكونية الكبرى .

ومع ذلك لم يخطر لي قط أن العلم سوف يوفر على الدوام العزاء الذي طالما قدمه الدين في مواجهة الموت . وأفضل قول عرفته عن هذا التحدي الوجودي قرأته في الكتاب الذي عنوانه : التاريخ الكنسي للإنكليز ، والذي كتبه الأب الفاضل ، بيد ، في حوالي عام ٧٠٠ ، وفيه يشرح كيف جمع الملك إدوين نورثمبريا في عام ٦٢٧ مجلساً يقرر الديانة التي يجب اعتمادها في مملكته ، وأعطى الخطاب التالي لرئيس حاشيته :

يا صاحب الجلالة ، عندما نقارن حياة الإنسان الحالية على الأرض بذلك العصر الذي لم يكن لدينا فيه أية معرفة ، تبدو لي شبيهة بالطيران السريع لعصفور دوري فرد عبر صالة الولائم حيث تجلسون للغداء في يوم شتوي مع وجهاء مملكتكم ومستشاريكم . يوجد في الوسط نار مريحة تدفئ الصالة ؛ وفي الخارج عواصف شتوية من المطر أو الثلج . وذلك العصفور يطير بسرعة داخلاً من باب وخارجاً من باب آخر ، وحين يكون في الداخل ينجو من العواصف الشتوية ؛ ولكنه بعد بضع هنيهات من الراحة يتوارى عن الأنظار في العالم الشتوي الذي أتى منه . والإنسان ، على هذه الشاكلة ، يظهر على الأرض لفترة قصيرة ؛ أما ما كان موجوداً قبل هذه الحياة وما سوف يوجد بعدها فلا نعلم عنه شيئاً .

إنه لإغراء يكاد لا يقاوم أن نعتقد ، مع بيد وإدوين ، أن في خارج صالة الولائم شيئاً مخصصاً لنا ، وإن شرف مقاومة هذا الإغراء ليس أكثر من بديل ضعيف عن عزاءات الدين ، ولكنه لا يخلو من رضى عن الذات .

الفصل الثاني عشر

في مقاطعة إيليس

أيتها الأمهات، لاتدعوا أطفالكم ينشؤوا ليصبحوا رعاة بقر.
لاتدعوهم يتأبطوا القيثارة ويسوقوا العربات العتيقة.
اجعلوا منهم أطباء ورجال قانون.

Ed and Pasty Bruce

إن مقاطعة إيليس في تكساس تقع في قلب ما كان ذات يوم أكبر منطقة في العالم لزراعة القطن. وليس من الصعب أن تجد في عاصمة المقاطعة، واكساتشي، علائم على ازدهار هذه الزراعة في الماضي. فمركز المدينة يزهو بعمارة عظيمة من الغرانيت القرنفلي هي دار الحكومة التي تعود إلى عام ١٨٩٥، والمُتوَّجة ببرج عالٍ لميقاتية المدينة؛ ويتفرع عن الساحة المركزية عدة شوارع تحفها بيوت جميلة من الطراز الفكتوري، وتشبه شارع براتل في كمبردج. لكن هذه المقاطعة أفقر الآن بكثير من ذي قبل. ورغم أن بعض القطن ما يزال يُزرع فيها، مع القمح والذرة، إلا أن الأسعار ليست كما كانت. وتقع مدينة دالاس على مسافة أربعين دقيقة إلى الشمال على طريق حدود الولاية ٣٥؛ وقد انتقل عدد قليل من الدالاسيين الموسرين إلى واكساتشي لأنهم يحبون هدوء الريف؛ لكن مصانع دالاس وفورت وورث للطائرات والحواسيب لم تأتِ إلى مقاطعة إيليس. وفي عام ١٩٨٨ بلغت نسبة البطالة ٧٪ في واكساتشي. ولذلك احتشد عدد كبير من الناس حول دار الحكومة عندما أُعلن، في ١٠ تشرين الثاني (نوفمبر) ١٩٨٨، عن أن مقاطعة إيليس قد اختيرت لتؤوي أضخم الأجهزة العلمية وأكثرها كلفة: المصادم الفائق.

كان التخطيط للمصادم الفائق قد بدأ قبل ذلك بحوالي ست سنوات. كان قسم الطاقة آنئذ يعمل على تنفيذ مشروع صعب اسمه إيزابيل كان قيد الإنشاء في مختبر بروكهافن الوطني في لونغ آيلاند. كان المقصود من إيزابيل أن يكون خليفة مسرِّع فرميلاب الموجود خارج تشيكاغو وأن يكون الجهازَ الرائد في أمريكا للبحوث التجريبية في فيزياء الجسيمات

العنصرية . وبعد انطلاقه عام ١٩٧٨ توقف العمل في إيزابيل لمدة سنيتن بسبب مصاعب في تصميم المغانط الفائقة الناقلية التي وظيفتها أن تحتفظ بحزمة البروتونات ملمومة وفي مسارها . لكن المشكلة الأعمق في مشروع إيزابيل هي أن هذا المسرع ، بالرغم من أنه كان سيصبح بعد إنجازه أقوى مسرع في العالم ، لن يكون ذا طاقة كافية للإجابة عن أهم الأسئلة التي يطرحها فيزيائيو الجسيمات ، ألا وهو : كيف ينكسر التناظر الذي يربط بين التفاعلين ، الضعيف والكهرطيسي .

إن أوصاف القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية ، في النموذج المعياري للجسيمات العنصرية يعتمد على تناظر **صحيح** في طريقة دخول هاتين القوتين في معادلات النظرية . لكن هذا التناظر ، كما ذكرنا ، غير موجود في حلول المعادلات ــ في خصائص الجسيمات والقوى نفسها . فمن شأن أية نسخة من هذا النموذج تبيح انكسار مثل هذا التناظر أن تحوي سمات لم تُكتشف بعد تجريبياً : سواء الجسيمات الجديدة ذات التفاعل الضعيف المعروفة باسم جسيمات هِغز أو قوى جديدة شديدة إضافية . ولكننا لا نعرف أي السمتين هي الموجودة فعلاً في الطبيعة ؛ وإنَّ تقدمنا إلى أبعد من النموذج المعياري متوقف على حسم هذه المسألة .

والطريقة المؤكدة الوحيدة لهذا الحسم هي إجراء تجارب تضمن طاقة ألف مليار فولت جاهزة لخلق جسيمات هغز أو جسيمات كتلوية متماسكة معاً بقوى شديدة إضافية . ولهذا الغرض لا بد من إعطاء زوجي البروتون المتصادمين طاقة كلية تبلغ قرابة ٤٠ ألف مليار فولت ، لأن طاقة البروتون تتوزع على الكواركات والغليونات التي يتألف منها البروتون ، ولن تُستهلك سوى نسبة واحد من أربعين من هذه الطاقة لخلق جسيمات جديدة عبر تصادم كوارك أو غليون من أحد البروتونين مع كوارك أو غليون من البروتون الآخر . زد على ذلك أن رجم هدف ساكن بحزمة بروتونات طاقتها ٤٠ ألف مليار فولت لا يكفي لهذا الغرض ، لأن كل طاقة البروتونات الواردة ستضيع في ارتداد البروتونات المصدومة . ولكي نتأكد من حسم مسألة انكسار التناظر الكهرضعيف لا بد من حزمتين بروتونيتين طاقة كل منها ٢٠ ألف مليار فولت تتصادمان رأساً لرأس ، فلا تضيع الطاقة في أي ارتداد . ومن حسن الحظ أننا نستطيع أن نثق بأن المسرِّع الذي يُنتج هاتين الحزمتين بهذه الطاقة سوف يتيح لنا أن نحسم مسألة انكسار التناظر الكهرضعيف ــ سنجد إما جسيمات هغز وإما برهاناً تجريبياً على قوى جديدة شديدة .

في عام ١٩٨٢ بدأت تراود الفيزيائيين ، من تجريبيين ونظريين ، فكرة إلغاء المشروع إيزابيل وإبداله ببناء مسرع آخر أقوى بكثير يتيح لنا حسم مسألة انكسار التناظر

الكهرضعيف. وفي صيف ذلك العام أنجزت لجنة غير رسمية، من الجمعية الفيزيائية الأمريكية، أول دراسة مفصلة لمسرع يُنتج حزمتين بروتونيتين طاقة كل منهما ٢٠ ألف مليار فولت، أي قرابة خمسين ضعفاً من الطاقة المتوقعة من إيزابيل. وفي شباط (فبراير) العام الذي تلاه بدأت لجنة من وزارة الطاقة متفرعة عن هيئة المستشارين في فيزياء الطاقة العالية، وبقيادة ستانلي فويشيكي من ستانفورد، سلسلة من اللقاءات للنظر في أمر الخيارات المتاحة لمسرع الجيل القادم. اجتمعت اللجنة الفرعية مع المستشار العلمي للرئيس الأمريكي، جي كيوورث، وفهمت منه تلميحاً قوياً بأن الإدارة سوف تنظر بعين الرضوان إلى مشروع ضخم جديد.

عقدت اللجنة الفرعية آخر اجتماع لها بين ٢٩ حزيران و ١ تموز ١٩٨٣ في جامعة كولومبيا. وبنتيجته أجمع الفيزيائيون الحاضرون على الإيصاء ببناء مسرع قادر على إنتاج حزمتين بروتينيتين تتصادمان بطاقة ١٠ ـــ ٢٠ ألف مليار فولت لكل منهما. لم يجتذب هذا التصويت بحد ذاته اهتماماً كبيراً، لأن العلميين في أي فرع من الفروع يريدون عموماً أن يوصوا بتجهيزات جديدة لبحوثهم الخاصة بهم. لكن الأهم من ذلك كله كانت الموافقة على إيقاف العمل في المشروع إيزابيل بأكثرية عشرة أصوات ضد سبعة. وكان ذلك قراراً صعباً جداً عارضه بشدة نيك ساميوس مدير مختبر بروكهافن. (لقد وصف ساميوس هذا القرار بأنه «أسوأ قرار اتُخذ قط في فيزياء الطاقة العالية») لم يكن هذا القرار قد أضر فقط بالدعم الذي تقدمه اللجنة الفرعية لمشروع المسرع الضخم الجديد ـــ بل أصبح من الصعب جداً على وزارة الطاقة أن تستمر في طلب المال من الكنغرس من أجل إيزابيل، وبإيقاف إيزابيل بدون بدء أي شيء سواه أصبحت وزارة الطاقة خالية الوفاض من تنفيذ أي مشروع للطاقة العالية.

وبعد عشرة أيام وافق المجلس الاستشاري لفيزياء الطاقة العالية بالإجماع على وصايا اللجنة الفرعية؛ فأعطى المسرع الجديد المقترح للمرة الأولى اسمه الحالي: المصادم الفائق ذو الناقلية الفائقة. وفي ١١ آب (أغسطس) أوكلت وزارة الطاقة لهذا المجلس أن يضع خطة لتنفيذ البحث والتطوير اللازمين لهذا المشروع؛ وفي ١٦ تشرين الثاني ١٩٨٣ أعلن وزير الطاقة، دونالد هودِل، قرار وزارته بإيقاف العمل في إيزابيل وطلب من اللجان المختصة في مجلس النواب والشيوخ السماح له بنقل الرصيد المالي من إيزابيل إلى المصادم الفائق.

إن البحث عن آلية انكسار التناظر الكهرضعيف لم يكن الدافع الوحيد باتجاه المصادم الفائق. فالمسرعات الجديدة، كتلك الموجودة في سيرن (جنيف) وفرميلاب (أمريكا) قد أُنشئت عموماً بهدف أن يتيح المزيد من الطاقة العالية اكتشاف ظواهر جديدة

تلقي الضوء على مسائلنا . وغالباً ما حصل المتوقَّع . فالسنكروترون البروتوني القديم ، مثلاً ، قد أُنشئ في سيرن بدون فكرة مسبقة معينة عن النتائج المنتظرة ؛ ولم يكن أحد يعرف أن التجارب التي تستخدم حزم النترينوات من هذا المسرع أن تكشف التيار الحيادي في التفاعلات الضعيفة ، هذا الاكتشاف الذي جاء عام ١٩٧٣ ليؤكد نظريتنا الحالية في توحيد القوتين ، الضعيفة والكهرطيسية . وليست المسرعات الضخمة الحالية سوى أحفاد السكلوترونات التي أُنشئت في بيركلي في ثلاثينيات هذا القرن ، على يدي إرنست لورنس ، بهدف تسريع البروتونات إلى طاقة عالية تتغلب على قوة التنافر الكهربائي المحيطة بالنواة الذرية . لم يكن عند لورنس أية فكرة عما سينتج من دخول البروتونات إلى النواة . وقد يُتوقع أيضاً اكتشاف شيء مهم ؛ فالبيفاترون ، مثلاً ، قد أُنشئ في بيركلي ، في الخمسينيات ، خصيصاً ليقدم الطاقة اللازمة (ستة مليارات فولت) لخلق بروتونات مضادة . كما أن المصادم الضخم ، **ليب** LEP ، الشغال الآن في سيرن ، قد أتاح من خلال تصادم الإلكترونات بالبوزترونات في هذا المصادم إنتاج عدد كبير من الجسيمات Z واستخدامها لوضع النموذج المعياري على محك الاختبار الصعب . ولكن حتى لو كان الدافع لإنشاء مسرع جديد دراسة مسألة معينة ، فقد نكتشف ما هو أهم منها بكثير دون أن نتوقعه . وقد حدث ذلك فعلاً مع البيفاترون ؛ فهو ، إضافة إلى البروتونات المضادة ، قد أنجز ما هو أهم منها حين أنتج تشكيلة كبيرة من جسيمات غير متوقعة تتفاعل بالقوة الشديدة . وهذا ينسحب على المصادم الفائق ؛ فنحن نتوقع سلفاً أنه قد يؤدي إلى اكتشافات أهم بكثير من اكتشاف آلية انكسار التناظر الكهرضعيف .

هذا وقد تقود التجارب التي تستخدم مسرعات عالية الطاقة ، كالمصادم الفائق ، إلى حل أهم مسألة يواجهها علم الكونيات الحديث : مسألة المادة المظلمة المفقودة . فنحن نعلم أن معظم كتل المجرات ، وحتى قسماً كبيراً من كتلة التجمعات المجرية ، مصنوع من مادة مظلمة ، مادة لا تتخذ شكل أجرام مضيئة كالشمس . وتتطلب النظريات الكونية الشائعة ، لتفسير معدل توسع العالم ، مادة مظلمة إضافية كثيرة قد لا تكون بشكل ذرات عادية ؛ إذ لو كانت عادية لكان للعدد الكبير من النترونات والبروتونات والإلكترونات تأثير في حسابات وفرة العناصر الخفيفة التي تشكلت في أثناء الدقائق القليلة الأولى من توسع العالم ، مما كان سيبطل الاتفاق بين نتائج هذه الحسابات وبين نتائج الأرصاد .

فما كنه هذه المادة المظلمة السوداء إذاً ؟ لقد تكهن الفيزيائيون طويلاً بوجود جسيمات غير عادية ، من نوع أو آخر ، ربما كانت المادة المظلمة مصنوعة منها ؛ لكنهم لم يتوصلوا حتى الآن إلى نتائج محددة . فإذا أسفرت تجارب المسرعات عن نوع جديد من

جسيمات طويلة الأجل نستطيع، من خلال قياس كتلها وتفاعلاتها، أن نحسب عددها المتبقي منذ الانفجار الأعظم وأن نعلم ما إذا كانت كلها أو بعضها تدخل في عداد المادة المظلمة في هذا العالم.

لقد اكتسبت هذه القضايا أهمية بالغة بنتيجة الأرصاد التي قام بها الساتل **كوب** (مستكشف الخلفية الإشعاعية الكونية). فقد اكتشفت اللواقط الحساسة إزاء الأمواج المكروية، على متن هذا الساتل، ما ينبئ عن فروق ضئيلة بين شتى مناطق السماء في درجة حرارة الإشعاع المتبقي منذ كان عمر العالم قرابة ثلاثمئة ألف عام. ويُعتقد أن هذه التفاوتات الحرارية المكانية ناجمة عن مفعولات الحقل الثقالي الناشئ عن تفاوتات طفيفة في توزع المادة آنذاك. كانت هذه الآونة، بعد ثلاثمئة عام من الانفجار الأعظم، ذات أهمية حاسمة في تاريخ العالم. كان العالم آنذاك قد صار لأول مرة شفافاً إزاء الإشعاع؛ ويُفترض عموماً أن التفاوتات المكانية في توزع المادة كانت بداية الارتصاصات المحلِّية الناجمة عن التجاذب الثقالي ضمن كل منطقة، مما أدى في النهاية إلى تشكل المجرات التي نراها اليوم. لكن تفاوتات التوزع المادي المستمدة من قياسات كوب **ليست** مجرات شابة؛ كما أن الساتل كوب لم يدرس سوى التفاوتات الإشعاعية في مدى حالي أوسع بكثير جداً من الحجم الذي كان يحتله العالم عندما كان عمره ثلاثمئة ألف عام. وإذا استقرأنا ما رآه كوب نزولاً إلى حجم المجرات الوليدة الأصغر بكثير، ثم حسبنا بهذه الطريقة درجة تفاوت التوزع المادي في هذه الأمداء الصغيرة نسبياً نصل إلى مشكلة عويصة: إن التفاوتات ضمن حجم المجرة الواحدة كان يجب أن تكون، عندما بلغ عمر العالم ثلاثمئة ألف عام، أضعف من أن تتفاقم، بفعل حقلها الثقالي، إلى الدرجة التي نراها في المجرات اليوم. وكطريقة للخروج من هذا المأزق يمكن افتراض أن التفاوتات في مدى المجرة الواحدة كانت قد بدأت تتفاقم بالثقالة في أثناء الثلاثمئة ألف عام الأولى، مما يبطل نتيجة استقراء نتائج كوب نزولاً إلى أفراد المجرات. لكن هذه الطريقة لا تصح إذا كان معظم مادة العالم مؤلفاً من إلكترونات وبروتونات ونترونات عادية، لأن اللاتجانسات في مثل هذه المادة العادية لا يمكن أن تكون قد تفاقمت تفاقماً محسوساً طالما ظل العالم كتيماً إزاء الإشعاع، لأن من شأن ضغط الإشعاع في تلك الآونة المبكرة أن يطيح بأي تجمع مادي فيفجره إلى شظايا متناثرة. ومن جهة أخرى، إذا كان قوام المادة المظلمة جسيمات حيادية كهربائياً يكون من شأنها أن تصبح شفافة إزاء الإشعاع في وقت أبكر بكثير وكانت ستبدأ تكاثفها الثقالي في وقت أقرب إلى البداية بكثير، مما كان سيجعل اللاتجانسات ضمن المجرة أكبر بكثير مما نستنتجه من استقراء نتائج كوب، وربما كبيرة بما يكفي لتناميها حتى تصل إلى مجرات العصر الحالي. فمن شأن اكتشاف جسيمات

المادة المظلمة التي قد ننتجها بالمصادم الفائق أن تؤكد هذه الفرضية بخصوص أصل المجرات وتلقي الضوء على تاريخ هذا العالم في ماضيه السحيق.

يمكن اكتشاف أشياء جديدة أخرى بمسرعات كالمصادم الفائق: جسيمات ضمن الكواركات التي ضمن البروتون؛ أي واحد من الأنداد الفائقة للجسيمات المعروفة، أي الأنداد التي تقتضيها نظرية التناظر الفائق؛ وهكذا. فنحن لا نعرف من هذه الأشياء أيها موجود ولا ما إذا كان اكتشاف الموجود ممكناً بالمصادم الفائق. فكان إذن من المطمئن أن نعرف سلفاً واحداً على الأقل من المكتشفات الهامة جداً، الاكتشاف الذي سوف يضمنه لنا المصادم الفائق: آلية انكسار التناظر الكهرضعيف.

بعد أن قررت وزارة الطاقة بناء المصادم الفائق انقضت عدة سنوات من التخطيط والتصميم قبل أن يبدأ العمل فيه. فقد دلت الخبرة الطويلة على أن هذا النوع من العمل، رغم رعاية الحكومة الفدرالية له، تنفذه الوكالات الخاصة بشكل أفضل؛ ولهذا السبب أوكلت الوزارة إدارة مرحلة البحث والتطوير إلى رابطة البحوث الجامعية، وهي رابطة لا تهدف إلى الربح وتضم ٦٩ جامعة وكانت قد أدارت مختبر فرميلاب؛ فوظفت بدورها علميين من الجامعات والصناعة لتشكيل مجلس إشراف على المصادم الفائق، وأوكلنا تفاصيل العمل التصميمي للمسرع إلى فريق عمل في بيركلي يرأسه موري تِغنر من كورنيل. وقد تم إنجاز التصميم في نيسان (أبريل) ١٩٨٦: نفق حلقي تحت الأرض عرضة ١٠ أقدام وطول محيطة ٨٣ كيلو متراً (يضاهي طول الطريق الحلقي حول واشنطن) لاحتواء حزمتين دقيقتين بروتونيتين تدوران في اتجاهين متعاكسين وطاقة كل منهما ٢٠ ألف مليار فولت. كان الحفاظ عليهما في مداريهما سيوكل إلى ٣٨٤٠ مغنطيساً حانياً (طول الواحد ١٧ متراً)، وتجميعهما بشكل خيطين دقيقين بوساطة ٨٨٨ مغنطيساً أخرى. كانت هذه المغانط كلها سوف تستلزم ٤١٥٠٠ طن من الحديد و ١٩٤٠٠ كيلو متر من حبال الأسلاك الفائقة الناقلية المبرَّدة بمليوني لتر من الهليوم السائل.

وفي ٣٠ كانون الثاني ١٩٨٧ وافق البيت الأبيض على المشروع. وفي نيسان التالي بدأت وزارة الطاقة عملية اختيار الموقع باستدراج عروض من الولايات التي ترشح نفسها. وفي ٢ أيلول ١٩٨٧، آخر موعد لتقديم العروض، اجتمع لدى الوزارة ٤٣ عرضاً (مجموع أوزانها حوالي ٣ أطنان) من الولايات المهتمة بالمشروع. ثم كلفت الأكاديمية الوطنية للعلوم والهندسة لجنةً لفض العروض اختارت سبعة منها على أساس «أفضل المواقع المؤهلة». وفي ١٠ تشرين الثاني ١٩٨٨ أعلن وزير الطاقة قرار وزارته باختيار مقاطعة إيليس في تكساس.

يعود بعض سبب هذا الاختيار إلى طبيعة باطن أرض ريف تكساس . فهو يمتد شمالاً من أوستن إلى دالاس على طبقة جيولوجية عمرها ثمانين مليون عام رسوبية في أعماق بحر قديم كان في العصر الكريتاسي يحتل معظم تكساس ؛ وهي طباشيرية كتيمة ضد الماء وهشة بما يكفي لتسهيل الحفريات فيها ، وقاسية في الوقت نفسه بما يُغني عن بناء جدر استنادية في النفق . وبمختصر القول ، كان من الصعب الأمل بشروط أفضل من هذه لحفر النفق الذي سوف يؤوي المصادم الفائق .

وفي أثناء ذلك كانت المعركة قد بدأت للحصول على التمويل ، لكن المرحلة الحرجة في مشروع من هذا النوع هي استملاك الأرض للبناء . فحتى ذلك الوقت كان المشروع في طور البحث والتطوير ، وكان يمكن إيقافه بالسهولة نفسها التي بدأ فيها . ولكن بمجرد أن يبدأ البناء يصبح إيقاف المشروع ممقوتاً على صعيد السياسة ، لأن هذا الإيقاف يعني اعترافاً ضمنياً بتبذير الأموال المصروفة من قبل على البناء . وفي شباط (فبراير) ١٩٨٨ طلب الرئيس ريغان من الكنغرس ٣٦٣ مليون دولار لتمويل البناء ، لكن الكنغرس لم يخصص سوى ١٠٠ مليون دولار ، وبالتحديد للبحث والتطوير ، لا للبناء .

واستمر مشروع المصادم الفائق وكأن مستقبله كان مضموناً . ففي كانون الثاني ١٩٨٩ اختير له فريق إدارة صناعية كما اختير روي شويتزر من هارفاد ليكون مدير مختبر المصادم الفائق . كان شويتزر رجلاً ملتحياً ولكنه فيزيائي تجريبي شاب نسبياً ، عمره ٤٤ عاماً ، وكان قد أثبت كفاءته الإدارية كرئيس للتعاون التجريبي الكبير في قيادة منشأة للطاقة العالية ، هي المصادم تيفاترون في فرميلاب . وفي ٧ أيلول ١٩٨٩ جاءتنا أخبار سارة جديدة بأن لجنة من مجلس الشيوخ قد وافقت على تخصيص ٢٢٥ مليون دولار للمصادم الفائق عن السنة المالية ١٩٩٠ ، منها ١٣٥ مليون دولار لأعمال البناء . وهكذا تجاوز المشروع مرحلة البحث والتطوير .

لكن المعركة لم تكن قد انتهت . فقد كان المال يُطلب سنوياً من الكنغرس ، وفي كل عام تساق الحجج نفسها لصالح المشروع أو ضده . كان الفيزيائيون السذج وحدهم يرون أن صلة هذا الخلاف ضعيفة بمسألة انكسار التناظر الكهرضعيف أو بقوانين الطبيعة النهائية . لكن الفيزيائيين المطلعين فقط كانوا يشعرون بالحزن أمام هذا الواقع .

كان الدافع الأقوى ، وربما الوحيد ، لدى السياسيين من أنصار المشروع وخصومه هو المصالح الاقتصادية الفورية لناخبيهم . كان الخصم اللدود للمشروع في الكنغرس ، النائبُ دون ريتر ، قد شبهه بمشاريع « برميل الخنازير »(*) التي لا تهدف إلا لإعطاء مكاسب سياسية

---

* عبارة أمريكية تعني المشروع الذي يعود بالكسب على الأنصار والمحاسيب . **المترجم**

لذوي النفوذ من أعضاء الكنغرس، فسمَّاه مشروع « برميل الكوراركات » . والواقع أن المشروع كان قبل اختيار الموقع يحظى بدعم واسع من أولئك الذين كانوا يأملون بأن يُقام المصادم الفائق في ولاياتهم. وعندما أدليت بشهادتي لمصلحة المشروع أمام لجنة الكنغرس عام ١٩٨٧ أخبرني أحد الشيوخ أن هناك قرابة مئة عضو من مجلس الشيوخ سيدعمون المشروع ولكن هذا العدد قد يتقلص إلى اثنين بعد اختيار الموقع. صحيح أن الدعم قد تقلص، ولكن تبين أن تقدير ذلك العضو كان مفرطاً في التشاؤم. ربما كان كبر عدد الداعمين يعود إلى كثرة عدد الشركات الوطنية التي أبرمت عقوداً لصنع مكوِّنات المصادم الفائق، ولكنني أعتقد أنه يعكس أيضاً بعض التفهم لأهمية المشروع الأصلية.

كان عددٌ من خصوم المشروع يتذرعون بضرورة الإسراع في تخفيض العجز الفدرالي. كانت هذه هي الحجة التي كررها الشيخ ديل بمبرز من أركنساس، زعيم المعارضين للمشروع في مجلس الشيوخ. أنا أستطيع أن أتفهم هذا الحرص، ولكنني لا أستطيع أن أفهم لماذا يجب أن يكون تخفيض العجز على حساب البحث العلمي عند تخوم العلم. إذ يمكن التفكير بمشاريع عديدة أخرى، من المحطة الفضائية إلى الغواصة ذئب البحار، تفوق بكثير جداً تكاليف المصادم الفائق وذات أهمية أصيلة أقل بكثير. وإذا كان الهدف من استمرار هذه المشاريع الأخرى توفير العمل للناس فإن المال الذي سيُصرف على المصادم الفائق سيوفر العدد نفسه من الوظائف تقريباً وبنفس الكلفة أي مشروع آخر. وقد لا نبالغ إذا قلنا بأن المشاريع التي مثل المحطة الفضائية وذئب البحار محمية سياسياً بشبكة من شركات الفضاء والدفاع حمايةً أقوى من أن تُعرِّض هذه المشاريع للخذلان، تاركة المصادم الفائق هدفاً أعزل أمام التذرع الرمزي بتخفيض العجز المالي.

كان أحد الموضوعات التي ثار حولها الجدل بمناسبة المصادم الفائق قضية ما يسمى العلم الكبير في مقابل العلم الصغير. فقد اجتذب المصادم الفائق معارضة من بعض العلميين الذي يفضلون أساليب العلم الأقدم والأكثر تواضعاً، أعني التجارب التي يُجريها الأساتذة والطلاب الجامعيون في أقبية المباني الجامعية. ولئن كان معظم العاملين في المسرعات العملاقة اليوم قد يفضلون أيضاً الفيزياء بهذا الأسلوب، لكننا بنتيجة نجاحاتنا الماضية نواجه الآن مسائل لا يمكن معالجتها بوسائل رذرفود وشمع الأختام. فأنا أتصور أن كثيراً من الطيارين ينتابهم الحنين إلى أيام الطائرات ذات الحجرة المفتوحة، ولكن عبور الأطلسي بها غير مقبول.

وتأتي معارضة مشاريع « العلم الكبير » ، كالمصادم الفائق، من علميين يحبذون أن يصرف المال على بحوث أخرى (بحوثهم الخاصة مثلاً) . ولكني أعتقد أنهم يخدعون أنفسهم.

فعندما حجب الكنغرس المال عن ميزانية الحكومة المطلوبة للمصادم الفائق أعطى هذا المال للمشاريع المائية بدلاً من أن يعطيه للمشاريع العلمية . ومن هذه المشاريع المائية مشاريع « خنزيرية » صرفة ، وتبلغ تكاليفها مايجعل تكلفة المصادم الفائق تبدو قزمة بالنسبة لها .

وقد اجتذب المصادم الفائق أيضاً معارضة من كانوا يظنون أن موافقة الرئيس ريغان على بناء المصادم الفائق نابعة من دعمه لمنظومة صواريخ « حرب النجوم » والمحطة الفضائية : نوع من الحماس الجنوني لكل مشروع تقاني جديد وكبير . ومن جهة أخرى يبدو لي أن قسماً كبيراً من معارضة المصادم الفائق نابع هو الآخر من نفور لا يقل جنوناً عن ذاك من كل مشروع تقاني جديد وكبير . فقد كان بعض الصحافيين يرون أن المصادم الفائق والمحطة الفضائية كليهما نموذجان فظيعان للعلم الكبير . هذا وإن مناقشة العلم الكبير في مقابل العلم الصغير طريقة جيدة لتحاشي التفكر في قيمة المشاريع الإفرادية .

لقد جاء بعض الدعم ، المهم سياسياً ، للمصادم الفائق من الذين كانوا يرون أنه نوع صناعي من « دفيئة الاستنبات » يؤدي إلى تقدم تقاني مهم في مجالات متنوعة ، كالتبريد وتصميم المغانط والحواسيب وما إلى ذلك . وكان المصادم الفائق سيمثل مرفقاً فكرياً يساعد بلدنا على الاحتفاظ بإطار من العلميين ذوي المواهب النادرة ؛ فبدون المصادم الفائق سوف نخسر جيلاً من فيزيائيي الطاقة العالية سيذهبون لإجراء بحوث في أوربا أو اليابان . هذا حتى أن أولئك الذين لا يهتمون بما سيكتشفه هؤلاء الفيزيائيون يمكن أن يفكروا بأن مجتمع فيزيائيي الطاقة العالية يمثل مخزوناً من المواهب العلمية كان يؤدي لبلدنا خدمات جلّى ، من مشروع مانهاتن في الماضي إلى المشروع الحالي للبرمجة المتوازية من أجل الحواسيب الفائقة .

إنها أسباب جيدة ومهمة تدعو الكنغرس لدعم المصادم الفائق ، لكنها لا تمس قلب الفيزيائي . لكن رغبتنا المستعجلة في رؤية المصادم الفائق يستأنف مسيرته نابعة من إحساسنا بأننا قد لا نستطيع بدونه أن نستمر في مغامرتنا الفكرية العظيمة لاستكشاف قوانين الطبيعة النهائية .

* * * * *

لقد ذهبتُ ، في أواخر خريف ١٩٩١ ، إلى مقاطعة إيليس لرؤية موقع المصادم الفائق . إن هذه الأرض ، كسواها في هذه المنطقة من تكساس ، ممهدة بشكل جيد ؛ وفيها عدد كبير من الينابيع الصغيرة تحف بها أجمات من أشجار الحور القطني . كانت الأرض موحلة في ذلك الوقت من السنة . كان معظم المحصول قد قُطف ، وكانت الحقول المزروعة

بقمح الشتاء ما تزال مكسوة بالوحل . ولم يكن يوجد سوى بقع متفرقة تأخر قطاف القطن فيها بسبب الأمطار الأخيرة فبدت مكسوة ببياض القطن . كانت الصقور تحوم في السماء بأمل أن تصطاد جرذاً متخلفاً يبحث عن مخلفات القطاف . إن هذا الموقع ليس من مناطق رعاة البقر . وقد رأيت مجموعة من البقر الأسود وحصاناً أبيض يقف وحيداً في أحد الحقول . لكن المواشي التي تزود الزرائب بحيوانات الذبح تأتي بمعظمها من مزارع بعيدة في المناطق الشمالية والغربية من مقاطعة إيليس . وفي الطريق إلى موقع المصادم الفائق المستقبلي طرق إقليمية تذهب من المزارع إلى السوق وتتعرج نزولاً إلى طرق ريفية غير معبدة لا تختلف عن الطرق التي كان يسلكها مزارعو القطن في هذه المنطقة منذ مئة عام .

لقد عرفتُ أنني وصلت إلى الأرض التي باعتها تكساس لتكون موقع المصادم الفائق حين تجاوزتُ مساكن في وسط المزارع تنتظر النقل أو الهدم ، وبعد ميل تقريباً إلى الشمال استطعت أن أرى عمارة ضخمة جديدة هي بناء تحضير المغانط . وهناك ، خلف غدير من أشجار البلوط ، رأيت عربة عالية لحفر الأرض جُلبت إلى هنا من حقول النفط لحفر بئر اختبارية عرضها ١٦ قدماً ، للمصادم الفائق ، وعمقها ٢٦٥ قدماً إلى نهاية الطبقة الطبشورية . وهناك التقطتُ قطعة طبشور ورحت أفكر بتوماس هكسلي .

كنت أعلم ، رغم كل هذا البناء والحفر ، أن تمويل المشروع يمكن أن يوقف . كنت أستطيع أن أتصور أن الحفرة الاختبارية قد تردم وأن بناء المغانط قد يظل خالياً باستثناء بضعة مزارعين ذوي ذكريات خابية تشهد على أن واحداً من أعظم المخابر العلمية كان سيقام في مقاطعة إيليس . ربما كنت تحت تأثير تفاؤل هكسلي فلم أستطع أن أُصدق أن ذلك يمكن أن يحدث ، أو أن نتخلى في عصرنا هذا عن البحث عن قوانين الطبيعة النهائية .

لا يستطيع أحد أن يقول ما هو المسرع الذي سيخطو بنا الخطوة الأخيرة نحو النظرية النهائية ؛ لكن الذي أعلمه علم اليقين هو أن هذه الآلات ستكون خلائف الأجهزة الحالية العظيمة الضرورية للتقدم والتي أسلافها المسرعات في بروكهافن وسيرن وفرميلاب والمسرعات **ديزي وكيك وسلاك** القائمة اليوم وصولاً إلى سكلوترون لورنس وأنبوب تمسون الكاتودي وتوغلاً في الماضي إلى مطياف فراونهوفر ومقراب غاليليو . وسواء اكتُشفت قوانين الطبيعة النهائية في حياتنا الراهنة فإن الشيء العظيم بالنسبة لنا هو أن نستمر في تقاليد إخضاع الطبيعة إلى تحرياتنا وفي تكرار الأسئلة عن سبب كونها كما هي .

المصادم الفائق
بعد سنة من تحرير الطبعة الثانية لهذا الكتاب

في أواخر تشرين الأول ١٩٩٣، عندما كان هذا الكتاب قيد الطباعة، وافق مجلس النواب على إنهاء برنامج المصادم الفائق. ورغم أن البرنامج كان مستمراً بعد أمثال هذا التصويت، إلا أن إلغاءه ما زال يبدو محتوماً في أثناء كتابة هذا الفصل من الكتاب. لا شك أن العلميين والمؤرخين المهتمين بالسياسة سوف يجدون في السنوات القادمة عملاً كثيراً في تحليل هذا القرار، ولكن قد لا يكون من السابق لأوانه أن نعلق قليلاً على كيفية حدوث ذلك، ولماذا؟

في ٢٤ حزيران ١٩٩٣ كان مجلس النواب قد صوت على شطب تمويل المصادم الفائق من قائمة المخصصات للطاقة والماء، كما فعل عام ١٩٩٢. لكن هذا التصويت لم يُنقص مخصصات الطاقة والماء، أو يزيد الدعم لمجالات العلم الأخرى؛ بل أصبحت مخصصات المصادم الفائق جاهزة لمشاريع طاقية ومائية أخرى. أما الآن فلا يمكن إنقاذ مشروع المصادم الفائق إلا بتصويت إيجابي في مجلس الشيوخ.

وفي ذلك الصيف غادر بعض الفيزيائيين من كل أنحاء الولايات المتحدة مكاتبهم ومختبراتهم مرة أخرى لكسب دعم واشنطن للمصادم الفائق. كانت حرارة وطيس المعركة من أجل هذا المصادم قد بلغت أوجها في جلسة مجلس الشيوخ بتاريخ ٢٩ و ٣٠ أيلول ١٩٩٣. وفي أثناء متابعتي للجلسة لم أكد أُصدق أذني حين سمعتُ بعض الشيوخ في ردهة المجلس يتناقشون حول وجود بوزونات هغز ويستشهد بهذا الكتاب كسلطة مرجعية. وفي ٣٠ أيلول صوت الشيوخ أخيراً، بأكثرية ٥٧ ضد ٤٢، لصالح تمويل المصادم الفائق بمبلغ لا يزيد عن الـ ٦٤٠ مليون دولار التي طلبتها الإدارة، ثم أيدت هذا القرار لجنة من مجلسي النواب والشيوخ؛ ولكن مجلس النواب صوت في ١٩ تشرين الأول، بأكثرية الثلثين تقريباً، على رفض تقرير هذه اللجنة وأعاد قائمة المخصصات الطاقية والمائية إلى اللجنة مع تعليمات تقضي بشطب تمويل المصادم الفائق. ولكن اللجنة اجتمعت الآن ووافقت على إلغاء المشروع.

فلماذا حدث ذلك؟ من المؤكد أن المصادم الفائق لم يصادف أية عقبة تقنية. فبعد عام من كتابة هذا الكتاب كانت حفريات النفق الرئيسي قد أنجزت ١٥ ميلاً في الطبقة الطبشورية تحت أرض مقاطعة إيليس. وتم إنجاز البناء ووضع قسم من التجهيزات التقنية التي كانت مصممة لإطلاق البروتونات التي ستأخذ طريقها إلى المصادم. وانتهى العمل في

نفق الـ ٥٧٠ متراً المعدّ للقاذف المنخفض الطاقة الذي وظيفته أن يسرِّع البروتونات الآتية من المسرِّع الخطي الأول إلى ١٢ مليار فولت قبل نقلها إلى القاذف المتوسط الطاقة. (هي طاقة منخفضة بمعايير اليوم، لكن ١٢ مليار فولت كانت، عندما بدأتُ أبحاثي في الفيزياء، تفوق إمكانيات كل المختبرات في العالم). كانت المصانع قد أُقيمت في لوزيانا، تكساس، وفي فرجينيا لإنتاج المغانط الضخمة التي سوف تُرشد البروتونات وتلمُّها بشكلٍ خيط دقيق وهي في طريقها عبر القواذف الثلاثة إلى الحلقة الرئيسية التي طولها ٥٤ ميلاً. كان مختبر تركيب المغانط، الذي زرتُه عام ١٩٩١، قد أُلحقت به أبنية أخرى ــ بناء لاختبار المغانط وبناء لاختبار منظومات التسريع وبناء لإيواء المبردات والضاغضات الضخمة لتمييع الهليوم اللازم لتبريد مغانط الحلقة الرئيسية لبلوغ الناقلية الفائقة. كانت الموافقة قد تمت وقتياً على برنامج تجريبي ــ شارك فيه أكثر من ألف دكتور في الفيزياء من ٢٤ بلداً ــ وكانت الموافقة وشيكة على برنامج آخر.

لم يكن يوجد أي اكتشاف في فيزياء الجسيمات العنصرية من شأنه أن يُضعف معقولية ما نتوقعه من المصادم الفائق. فنحن ما نزال ملتزمين بسعينا إلى تجاوز النموذج المعياري، وبدون هذا المصادم كانت أفضل آمالنا أن يستمر الفيزيائيون الأوربيون في خططهم لبناء مسرع مماثل.

كانت المشكلة في مشروع المصادم الفائق جزءاً من آثار التغيرات السياسية الطارئة، ولئن استمر الرئيس كلينتون في دعم إدارة المشروع إلا أنه كان أقل التزاماً به على الصعيد السياسي من الرئيس بوش التكساسي والرئيس ريغان الذي انطلق المشروع في عهده. وربما كان الأهم من ذلك كله هو أن عدة أعضاء من الكنغرس (الجدد منهم خصوصاً) يشعرون الآن بضرورة البرهان على تعقلهم في صرف المال من خلال التصويت ضد **شيء ما**. لم يكن المصادم الفائق يمثل سوى ٤٣ر٠٪ من الميزانية الفدرالية، لكنه كان قد صار رمزاً سياسياً مناسباً.

كانت الذريعة الأكثر ترديداً في مناقشة مشروع المصادم تعبر عن الاهتمام بتسلسل الأولويات. صحيح أن هذا التسلسل قضية مهمة؛ فرؤية سوء تغذية بعض مواطنينا وسوء سكناهم لا تبعث على التساهل في صرف المال على أشياء أخرى. لكن بعض أعضاء الكنغرس يعترفون بأن مجتمعنا سوف يحقق على المدى الطويل من دعم العلم الأساسي مكاسب تفوق كل كسب فوري آخر يمكن تحقيقه بهذه الأموال. ومن جهة أخرى، كان أعضاء الكنغرس الذين يرتابون في أولوية الصرف على المصادم الفائق يصوتون على الدوام لمصلحة مشاريع أخرى أقل فائدة منه بكثير. ومن المشاريع الأخرى، كمشروع المحطة

الفضائية، ما تجاوز عقباته هذا العام، لا لفائدتها الأصيلة وحدها بل بالأحرى لأن عدداً كبيراً من أعضاء الكنغرس كانت لهم مصلحة في هذه البرامج. وربما لو كان المصادم الفائق ذا كلفة أكبر بمرتين ويوفر ضعفي فرص العمل لكان حظه أفضل.

ومن خصوم المصادم الفائق أيضاً أعضاء ألحوا كثيراً على سوء إدارته وتكاليفه المتعاظمة. لكن الواقع أن الإدارة لم تكن سيئة وأن معظم السبب في تزايد الكلفة يعود إلى تأخر التمويل الحكومي. وقد قلت ذلك كله عندما أدليت بشهادتي أمام لجنة الطاقة والمصادر الطبيعية في مجلس الشيوخ في آب ١٩٩٣. وخير جواب على هذه الادعاءات ما قاله وزير الطاقة أوليري بأن صرف عشرين بالمئة من تكلفة المشروع الكلية قد أدى إلى إنجاز عشرين بالمئة من كامل المشروع.

ومن أعضاء الكنغرس من قالوا، رغم اعترافهم بالقيمة العلمية للمصادم الفائق، بأنهم لا يستطيعون أن يوافقوا عليه في هذا الوقت بالذات. ولكن مهما كان موعد البدء بمشروع من هذا الحجم لا بد من التباطؤ أحياناً، أثناء سني العمل لإنجاز المشروع، عندما تسوء الأحوال الاقتصادية. إذ ماذا بإمكاننا أن نفعل عندئذ ــ هل نستمر في تنفيذ المشاريع الضخمة، لا لشيء إلا لإنجازها والأحوال الاقتصادية متردية؟ والآن، ونحن نوشك أن نقتل الملياري دولار وعشرة آلاف «سنة ــ رجل» المصروفة حتى الآن على المصادم الفائق، من هم العلميون أو الحكومات الأجنبية الذين يمكن أن يقبلوا الإسهام في أي مشروع مستقبلي إذا كان معرضاً للإلغاء في أي وقت تسوء فيه الأحوال الاقتصادية؟ لا شك أن إعادة النظر في أي مشروع ضرورية عندما تقتضيها المتغيرات العلمية أو التقانية. وقد حدث فعلاً أن تزعَّم فيزيائيو الطاقة العالية إيقاف العمل في إيزابيل، مشروع المسرع الضخم الذي سبق مشروع المصادم الفائق، عندما تغيرت الأهداف المقصودة منه. ولكن لم يطرأ أي تغيير على الأهداف المقصودة من المصادم الفائق. وإذا رُفض هذا المشروع الآن، بعد كل العمل الذي أُنجز فيه وبسبب تخفيض الميزانية هذا العام، فإن الولايات المتحدة قد تودِّع الأمل نهائياً بأي برنامج يفي بضرورات البحوث في فيزياء الجسيمات العنصرية.

عندما أستذكر الآن كفاحنا في الصيف الماضي أشعر ببعض الارتياح من ملاحظة أن من بين أعضاء الكنغرس رجالاً يهتمون بالعلم بمعزل عن أي سبب سياسي أو اقتصادي يدفعهم إلى دعم المصادم الفائق. كان أحدهم الشيخ بينيت جونسون من لوزيانا الذي نظَّم أنصار المشروع في جلسة مجلس الشيوخ. صحيح أن ولايته كان لها مصلحة اقتصادية كبيرة في صنع المغانط اللازمة للمصادم الفائق، إلا أنه كان، إضافة لذلك، من المتحمسين

جداً للعلم، بدليل خطابة البليغ الذي ألقاه في مجلس الشيوخ. كما أن الحماس الفكري نفسه كان ظاهراً في أقوال أعضاء آخرين في الكنغرس، كالشيخ مونيهان في نيويورك وكيري من نبراسكا وعضوي الكنغرس: نيدلر من مانهاتن وغِبهارت من ميسوري، وكذلك المستشار العلمي للرئيس، جاك غيبونز. لقد كنتُ واحداً من المجموعة التي قابلت أعضاءً جدداً في الكنغرس في شهر أيار. وبعد أن شرح سواي الخبرة التقانية القيِّمة التي سوف تُكتسب من بناء المصادم الفائق قلتُ إنني، رغم جهلي لكثير من الأمور في السياسة، أعتقد أننا يجب أن لا ننسى أن من بين من صوتوا لصالح المشروع رجالاً مهتمين صدقاً بمسائل العلم الأساسية وبمعزل عن أي تطبيق تقاني. فعلَّق أحد أعضاء الكنغرس على ذلك قائلاً بأنه يتفق معي على شيء واحد فقط هو أنني لا أعرف الكثير عن أمور السياسة. وبعد برهة قصيرة دخل عضو آخر من ميريلاند، وبعد أن أصغى طويلاً لحديث النتائج التقانية قال بأن المرء يجب أن لا ينسى بأن عدداً ممن صوتوا لصالح المصادم الفائق مهتمون أيضاً بمسائل العلم الأساسية. فانصرفت مسروراً.

إن الجدل حول المصادم الفائق استثار أيضاً تعليقات غير سارة. لقد كانت العلاقات بين العلم والمجتمع محكومة، لقرون عديدة، باتفاق صفقة ضمني. فقد كان رجال العلم يسعون عموماً إلى اكتشافات عالمية الشمول أو جميلة أو أساسية، بصرف النظر عما يمكن أن يتوقعوا لها من فوائد للمجتمع. ولئن كان بعض الناس، من غير العلميين، يجدون أن هذا النوع من العلم البحت مثير، إلا أن المجتمع عموماً كان يريد، على شاكلة عضو الكنغرس عن كاليفورنيا، أن يدعم العمل في العلم البحت إذا توقع منه خصوصاً أن يقود إلى تطبيقات عملية. لقد تبين أن هذه التطلعات كان مصيبة عموماً. ولكن هذا لا يعني أن **أي** عمل في العلم سوف يعثر في طريقه على شيء يمكن الاستفادة منه. بل يعني بالأحرى أننا نتوقع العثور على أشياء جديدة حقاً حين نستقصي المعرفة العلمية إلى أبعد حد ممكن، وهذا الذي يمكن أن يفيد، على شاكلة الفائدة التي تحققت بعد اكتشاف الأمواج الراديوية والإلكترونات والنشاط الإشعاعي. وإن الجهود المبذولة للوصول إلى هذه الاكتشافات ستقودنا حتماً إلى اكتساب مهارات تقانية وفكرية تقود بدورها إلى تطبيقات أخرى.

لكن يبدو أن هذا الاتفاق قد فُسخ الآن، فليس بعض أعضاء الكنغرس فقط هم الذين فقدوا الثقة بالعلم البحت. فالصراع من أجل التمويل قد قاد بعض العلميين، ممن يعملون في مجال ذي تطبيقات أكثر، أن يقفوا ضد أولئك الذين يبحثون عن قوانين الطبيعة. والمصاعب التي صادفها المصادم الفائق في الكنغرس ليست سوى سمة من سمات العزوف عن العلم البحت. وكسمة أخرى نذكر أن مجلس الشيوخ يحاول مؤخراً أن يُلزم المؤسسة العلمية

الوطنية بالتنازل عن ٦٠٪ من نفقاتها لمصلحة الحاجات الاجتماعية . أنا لا أقول بأن المال يجب أن لا يُصرف بشكل جيد ، لكن من الفظيع أن يختار بعض الشيوخ البحث العلمي البحت مكاناً يقتطعون منه هذه الأموال . لقد أثار الجدل حول المصادم الفائق خلافات تفوق المصادم الفائق الأهمية ، وسوف نعاني من هذا الوضع هموماً لعشرات السنين القادمة .

تشرين الأول (أكتوبر) ١٩٩٣

أوستين ، تكساس

إن طبعة هذا الكتاب التي ترجمناها هنا هي الطبعة الثانية . وقد صدرت الطبعة الأولى منه عام ١٩٩٢ وهي حتماً الطبعة التي كان من شأنها أن يذكر بعض الشيوخ جسيمات هغز على مسمع من المؤلف . ونذكر أخيراً أن الكنغرس قد أوقف نهائياً ، مع الأسف ، استمرار تنفيذ مشروع المصادم الفائق بعد شهر تقريباً من كتابة هذه الخاتمة ، ولم يُتح للمؤلف أن يُعلق على هذا القرار هنا ، لأن هذه الطبعة كانت مطروحة في السوق عندئذ ؛ وماذا يمكن أن يقول أكثر مما قال ؟!

المترجم

دمشق ، تشرين الأول ١٩٩٥

الفهرس

أحلام الفيزيائيين بالعثور على نظرية نهائية جامعة شاملة / ستيفن وانبرغ ؛ ترجمة أدهم السمان . ـ دمشق: دار طلاس، ١٩٩٧ . ـ ٢٢٢ ص؛ ٢٥سم.

صدر بالتعاون مع المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا بدمشق.

١ ـ ٥٣٠,٠١ و ا ن أ ٢ ـ العنوان ٣ ـ وانبرغ ٤ ـ السمان

مكتبة الأسد

رقم الإيداع ـ ١٩٩٧/٣/١٩٩ رقم الإصدار ٧٣٥

رقم: ٣٨٣٤٦
تاريخ: ١٩٩٦/١٢/١١

صدر من سلسلة الثقافة المميزة

	تأليف	ترجمة
(1) **العوالم الأخرى** (صورة الكون والوجود والعقل والمادة والزمن في الفيزياء الحديثة)	بول ديفيس	د. حاتم النجدي
(2) **موجز تاريخ الزمن** (من الانفجار الأعظم إلى الثقوب السوداء)	ستيفن هوكنغ	د. أدهم السمان
(3) **تطور الأفكار في الفيزياء** (من المفاهيم الأولية إلى نظريتي النسبية والكم)	ألبرت آينشتاين ليوبولد انفلد	د. أدهم السمان
(4) **نشوء العصر الذري**	الوين ماكيه	د. مكي الحسني الجزائري
(5) **الأوتار الفائقة** (نظرية كل شيء)	ب.ك. دافي جوليان براون	د. أدهم السمان
(6) **قصة الفيزياء**	لويد موتز جيفرسون ويفر	الأستاذ وائل أتاسي د. طاهر الترېدار
(7) **من يلعب النرد؟** الرياضيات الجديدة للظواهر العشوائية	إيان ستيورات	د. بسام أحمد المغربي
(8) **مع القفزة الكمومية**	فريد آلان ولف	د. أدهم السمان
(9) **مستقبل العلم**	أكاديمية العلوم الفرنسية	د. مكي الحسني الجزائري
(10) **الجزيئات وحياتنا اليومية**	د. أتكنز	أ.د. علي قطريب أ.د. جورج جعنيني



أحلام الفيزيائيين

- يروي هذا الكتاب قصة مغامرة فكرية عظيمة تهدف إلى البحث عن القوانين النهائية للطبيعة لأن معظم الأبحاث الحالية في فيزياء الطاقة العالية تستوحي مبرراتها من الحلم بالحصول على نظرية نهائية بهذا الصدد .
- كما يناقش مفاهيم الفيزياء، وبعض الأفكار العلمية وما تعنيه النظرية الحديثة وكيفية العثور عليها، من خلال مناقشة دقيقة ومادة تاريخية علمية بمتعة لاتوصف .

